LKP
R72

PRAKTISCHE RÖNTGENPHYSIK UND RÖNTGENTECHNIK

VON

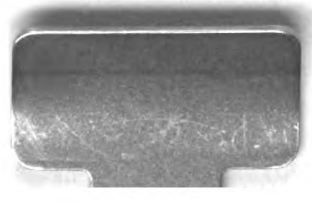
JOSEF ROSENTHAL

ZWEITE AUFLAGE

LEIPZIG

JOHANN AMBROSIUS BARTH

Library
of the
University of Wisconsin



OTTO HARRASSOW
BUCHHANDLU

DONATED TO
MEMORIAL LIBRARY

PRAKTISCHE RÖNTGENPHYSIK UND RÖNTGENTECHNIK

VON

DR. PHIL. JOSEF ROSENTHAL
DIPL.-ING. IN MÜNCHEN

ZWEITE, UMGEARBEITETE AUFLAGE

MIT 245 ABBILDUNGEN IM TEXT, 3 PHOTOGRAPHISCHEN UND 2 AUTOTYPIETAFELN

1 9 2 5

LEIPZIG / VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH

Sonderdruck aus dem
Lehrbuch der Röntgenkunde
herausgegeben von
Hermann Rieder-München und Josef Rosenthal-München.
2. Auflage, Band I und II.

Alle Rechte vorbehalten.

Printed in Germany.

307101
AUG 10 1926
ASL 1939

Vorwort.

Eine kurz gefaßte Abhandlung über die „Praktische Röntgen-Physik“ sowie über die immer noch in weiterer Entwicklung befindliche „Röntgentechnik“ dürfte wohl Manchem willkommen sein. Der Barth'sche Verlag hat deshalb in dankenswerter Weise diese beiden Kapitel aus dem umfangreichen „Rieder-Rosenthal'schen Lehrbuch der Röntgenkunde“ als eigenes Werkchen herausgegeben. Um eine Änderung der zahlreichen Hinweise im Text zu vermeiden, wurde im Kapitel „Röntgentechnik“ die fortlaufende Paginierung des Lehrbuchs — nach innen gerückt — beibehalten. Die im Text befindlichen Hinweise beziehen sich also auf die innere Paginierung. Auch Zitate werden zweckmäßigerweise in Übereinstimmung mit dem Lehrbuch nach der inneren Seitenzählung vorgenommen.

Durch die Beigabe eines für beide Kapitel gemeinschaftlichen Registers wird der Gebrauch des Buches erleichtert.

München, im November 1924.

Josef Rosenthal.

Inhalt.

	Seite
Praktische Röntgenphysik	1
Röntgentechnik	53
Register	249

Nachweis für die Tafeln.

Tafel I			6
„ II und III	(zu Röntgenphysik)	nach Seite	44
„ IV			50
„ XXIX	(zu Röntgentechnik)	„ „	60

Praktische Röntgenphysik.

Von Dipl.-Ing. Dr. phil. **Josef Rosenthal,** München.

Mit 16 Abbildungen im Text und 4 Tafeln.

Im Nachstehenden sollen diejenigen physikalischen Erscheinungen kurz behandelt werden, welche für den sich mit der praktischen Röntgenologie beschäftigenden Arzt oder Naturforscher von Wichtigkeit sind. Hierbei setze ich die elektrischen Grundbegriffe und Vorgänge, die in jedem physikalischen Lehrbuch enthalten sind, als bekannt voraus. Wer sich mit diesen und mit den elektrischen Apparaten etwas eingehender vertraut machen will, findet sie unter anderem in klarer, leicht verständlicher Weise dargestellt in dem bekannten Buch von L. Graetz, „Die Elektrizität und ihre Anwendungen", dessen 20. Auflage 1921 erschienen ist (Stuttgart, Engelhorns Nachf.).

Von der umfangreichen Literatur über die Physik der Röntgenstrahlen sollen hier nur zwei neuere ausführliche Zusammenstellungen erwähnt werden, und zwar die Abhandlungen von

Marx, E., im Handbuch der Radiologie, herausgegeben von E. Marx, Band V, 1919, S. 149—688 (Leipzig, Akadem. Verlagsges.) und

Cermak, P., im Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus, herausgegeben von L. Grätz, Band III, Lieferung 4, 1923, S. 901—1022 (Leipzig, J. A. Barth).

Über das Wesen der Röntgenstrahlen

hat uns die im Jahre 1912 von W. Friedrich, P. Knipping und M. Laue in den Sitzungsberichten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (mathematisch-physikalische Klasse) veröffentlichte Arbeit über „Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen" erstmals einwandfrei aufgeklärt. Hiernach sind Röntgenstrahlen elektromagnetische Schwingungen — ebenso wie Lichtstrahlen; sie unterscheiden sich von diesen nur durch die bedeutend geringere Wellenlänge, die etwa ein Zehntausendstel derjenigen des sichtbaren Spektrums beträgt.

Von E. Wiechert und von G. G. Stokes war schon 1896 die sogenannte „Ätherimpuls-Theorie der Röntgenstrahlen" aufgestellt worden. Nach dieser betrachtete man die Röntgenstrahlen auch als Bewegungen des Äthers, und zwar als sehr rasch aufeinanderfolgende

Ätherstöße — Ätherimpulse —, die nicht in gleichen Zeitabständen aufeinanderfolgen. Daß die Röntgenstrahlen regelmäßige Ätherwellen sind, haben Friedrich, Knipping und Laue durch deren Interferenz in der oben erwähnten Arbeit nachgewiesen. Da diese Untersuchungen und die daran sich anknüpfenden weiteren Forschungen nicht nur rein wissenschaftlich von größter Wichtigkeit, sondern auch vom praktisch röntgenologischen Standpunkt aus außerordentlich wertvoll sind, soll hier etwas näher darauf eingegangen werden.

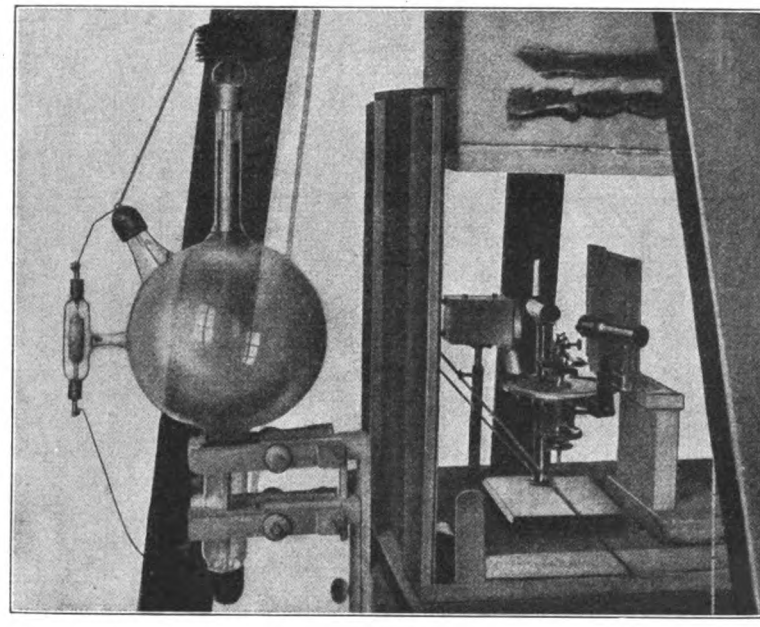
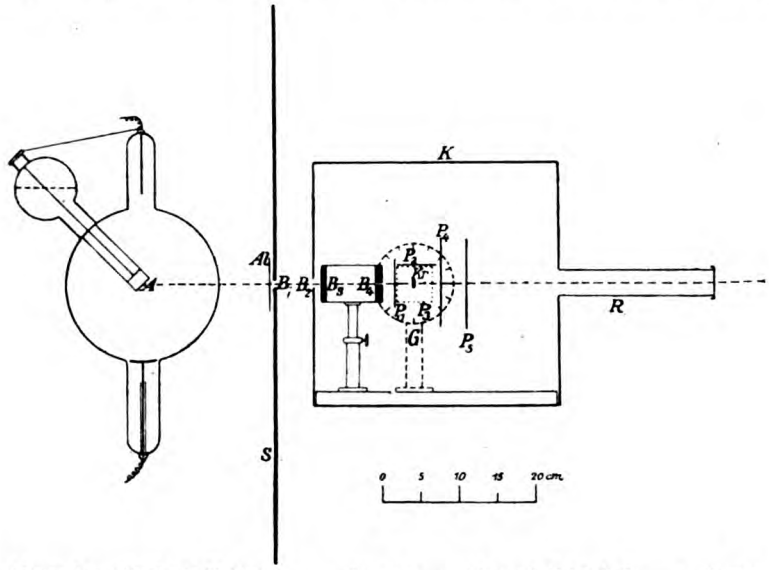


Fig. 1.
Original-Röntgenspektralapparat von Friedrich, Knipping und Laue.

Ähnlich wie Lichtwellen an engen Spalten — Gittern — gebeugt werden, so müßten auch Röntgenstrahlen, sofern sie Wellenbewegungen des Äthers sind, an solchen gebeugt werden und man müßte die bekannten Interferenz-Erscheinungen des Lichtes auch bei Röntgenstrahlen beobachten können. Dahingehende Versuche wurden schon im Jahre 1903 von Haga und Wind und später von Walter und Pohl ausgeführt; jedoch waren die Resultate nicht derart, daß eine Interferenz einwandfrei festgestellt werden konnte. Die Schwierigkeit lag darin, daß der Spalt — infolge der geringen Wellenlänge der Röntgenstrahlen — außerordentlich eng gewählt werden mußte und die genaue Herstellung derartig feiner Spalte praktisch kaum ausführbar war. Durch die geniale Idee Laues, die Entfernung der Moleküle bzw. der Atome im Kristall

als Spaltbreite, also den Kristall selbst als „Raumgitter" zu verwenden, wurde diese Schwierigkeit überwunden und die schönen experimentellen Arbeiten von Friedrich und Knipping (aus dem Sommerfeldschen Institut für theoretische Physik der Universität München) haben die Lauesche Idee zur Ausführung gebracht und bestätigt. Dadurch wurde nicht nur die Wellennatur der Röntgenstrahlen mit Sicherheit nachgewiesen, sondern auch eine große Reihe wichtigster Untersuchungen eingeleitet, welche uns wertvolle Aufklärungen über die



Abstand Antikathode-Kristall . . .	350 mm	Abstand Kristall-P_4 . .	35 mm
„ Kristall-P_1 resp. P_2 resp. P_3	25 „	„ Kristall-P_5 . .	70 „

Fig. 2.
Schema des Röntgenspektralapparates von Friedrich, Knipping und Laue.

Röntgenstrahlen, über die Kristallstruktur und über den Atombau brachten.

Der Apparat, mit welchem Friedrich und Knipping ihre Untersuchungen anstellten, befindet sich jetzt im Deutschen Museum in München (Fig. 1). In Fig. 2 ist er schematisch dargestellt. Friedrich und Knipping beschreiben ihn im experimentellen Teil der erwähnten Abhandlung wie folgt:

Von den von der Antikathode A einer Röntgenröhre ausgehenden Röntgenstrahlen wird ein schmales Bündel von ca. 1 mm Durchmesser durch die Blenden B_1 bis B_4 ausgeblendet. Dieses Bündel durchsetzt den Kristall Kr, der in einem Goniometer G aufgestellt ist. Um den Kristall waren in verschiedenen Richtungen und Abständen photographische Platten P angebracht, auf denen sich die Intensitätsverteilung

der vom Kristall ausgehenden Sekundärstrahlen registrierte. Gegen nicht gewollte Strahlen war die Anordnung durch einen großen Bleischirm S sowie durch den Bleikasten K in genügender Weise geschützt. Die Größe der wichtigen Teile der Versuchsanordnung lassen sich aus der Fig. 1 entnehmen, die im Maßstab 1 : 10 gezeichnet ist.

Die Einstellung der gesamten Versuchsanordnung wurde auf optischem Wege bewerkstelligt. Ein Kathetometer, dessen Fernrohr mit einem Fadenkreuz versehen war, hatten wir ein für allemal unverrückbar aufgestellt. Der Reihe nach wurden Brennfleck der Antikathode, Blenden und Goniometerachse in die optische Achse des Fernrohrs gebracht. Auf diese Weise konnten wir die recht umständliche Einstellung mit Röntgenstrahlen durch die viel bequemere optische ersetzen. Kontrollversuche mit Röntgenstrahlen selbst erwiesen auch, daß diese Justierung auf optischem Wege völlig ausreichend war. Die Blenden B_1 bis B_3 schirmten hauptsächlich die Sekundärstrahlen der Röhrenwände ab, während die eigentliche Begrenzung für das auf den Kristall auffallende Röntgenstrahlenbündel die Blende B_4 bildete. Diese hatte gewöhnlich 0,75 mm Durchmesser, war in eine 10 mm dicke Bleischeibe gebohrt und konnte vermittelst dreier Stellschrauben (nicht gezeichnet) so justiert werden, daß die Achse des Loches genau mit der Fernrohrachse resp. Achse des Strahlenbündels zusammenfiel. Hierdurch wurde erreicht, daß ein Strahlenbündel von kreisrundem Querschnitt auf den Kristall fiel; ferner wurde hierdurch das Maß der von der Wand jener Blende B_4 ausgehenden Sekundärstrahlen auf ein Minimum reduziert, was nötig war, um den Plattenschleier möglichst zu unterdrücken. Um diese Einstellung auch während der Aufnahme kontrollieren zu können, photographierten wir das Primärbündel, nachdem es den Schutzkasten durch ein langes Ansatzrohr R verlassen hatte, zu welchem Zwecke eine eigene Kassette am Ende dieses Rohres angebracht war (nicht mitgezeichnet). Das Rohr R diente sonst dazu, die Sekundärstrahlen, die bei dem Auftreffen der Primärstrahlen auf die hintere Kastenwand entstehen würden, möglichst zu vermeiden.

Nach diesen Justierungen, deren Güte wir von jeder Aufnahme kontrollierten, wurde die Goniometerachse auf dem üblichen Wege senkrecht zum Strahlengang gerichtet. In gleicher Weise waren die verschiedenen Plattenhalter so justiert, daß die Primärstrahlen die aufgestellten Films resp. Platten senkrecht durchsetzten resp. parallel zu ihnen verliefen. Wenn der Apparat soweit orientiert war, wurde der zu bestrahlende Kristall, der mit einer Spur Klebwachs am Goniometertisch befestigt war, eingestellt, und zwar wieder mit Hilfe des schon genannten Fernrohres in der bekannten Weise unter Benutzung eines „Signales“. Diese — wie sich später zeigen wird — sehr wesent-

liche Justierung konnte von uns bis auf eine Minute genau vorgenommen werden. Als Aufnahmematerial benutzten wir, nachdem wir einige andere Sorten als nicht so geeignet befunden hatten, Schleußner-Röntgen-Films, die mit Rodinal (1 : 15) entwickelt die besten Resultate lieferten.

Die Überschlagsrechnungen nach den bisherigen Erfahrungen über Sekundärstrahlen zeigten, daß recht beträchtliche Expositionszeiten notwendig waren. Die Belichtungszeiten bewegten sich bei 2—10 Milli-Ampere Belastung (je nach der 6—12 Wehnelt betragenden Härte der Röhre) zwischen 1—20 Stunden. Als Röntgenröhren kamen teils Intensivröhren von Gundelach, teils Rapidröhren mit Wasserkühlung von Müller zur Verwendung, die von einem 50 cm Klingelfuß-Induktor betrieben wurden. Als Unterbrecher gelangten teils ein Wehnelt-, teils ein mechanischer Unterbrecher zur Verwendung. Vor die Röntgenröhre wurden passende Ventilröhren zur Vermeidung von Schließungslicht geschaltet. Es wurde mit Pausen exponiert, um die Röhre nicht allzusehr zu erhitzen. Für die bisher ausgeführten Versuche erwies sich eine Härte von 8—10 Wehnelt als geeignet. —

Welcher Art die erhaltenen Beugungsbilder sind, zeigen die Figg. 1, 2 u. 3 der Tafel I, welche der Originalabhandlung von Friedrich, Knipping und Laue entnommen sind. Sie wurden erhalten unter Verwendung eines Kristalls der regulären Zinkblende, und zwar trafen die Röntgenstrahlen bei Figg. 1 u. 2 senkrecht zur Würfelfläche auf den Kristall, also in Richtung einer vierzähligen Symmetrieachse, bei Fig. 3 in Richtung einer dreizähligen. Bei Fig. 2 befand sich der Film in kleinerem Abstand vom Kristall als bei Fig. 1. Von den bekannten Beugungsbildern der Strahlen des sichtbaren Spektrums unterscheiden sich diese Beugungsbilder sehr bedeutend. Der Grund liegt darin, daß das Beugungsgitter für Lichtstrahlen in einer Ebene liegt (z. B. in eine Glasplatte eingravierte, sehr dicht aneinanderliegende Linien — etwa 1000 Linien auf einen Millimeter —), während bei der Röntgenstrahlenbeugung ein Raumgitter benutzt wird, bei dem die Atome des Kristalls nicht nur in einer Ebene, sondern in vielen hintereinander liegenden Ebenen angeordnet sind. Je nach dem verwendeten Kristall, je nach dessen Lage zum einfallenden Röntgenstrahlenbündel und je nach der Zusammensetzung des letzteren erhält man Punktreihen von verschiedener Anordnung und Intensität. Der mittlere schwarze Kreis der Abbildungen entspricht dem sog. Durchstoßungspunkt, also dem nicht abgelenkten Röntgenstrahl. Infolge der starken Überlichtung der photographischen Platte am Durchstoßungspunkt ist dieser bedeutend vergrößert. Die um ihn angeordneten, mehr oder weniger intensiv geschwärzten Punkte werden durch die abgebeugten Strahlen hervor-

gerufen. Wie zuerst der englische Physiker W. L. Bragg zeigte, entsteht das Lauesche Beugungsbild durch das kontinuierliche Röntgenstrahlen-Spektrum, das infolge der Bremsung der Kathodenstrahlen an der Antikathode der Röntgenröhre auftritt, also nicht durch die Eigenstrahlung des Antikathodenmetalls, die sog. Fluoreszenzstrahlung (siehe Seite 13). Daß — den einzelnen Punkten des Laue-Photogramms entsprechend — nur einzelne, bestimmte Strahlen des kontinuierlichen Röntgenstrahlen-Spektrums wiedergegeben werden, hat seinen Grund — wie W. H. und W. L. Bragg (Vater und Sohn) nachwiesen — in der Gitterstruktur des Kristalls. Je nach der Lage des letzteren zum einfallenden Röntgenstrahl erhält man daher, wie schon erwähnt, verschiedene Punktanordnungen.

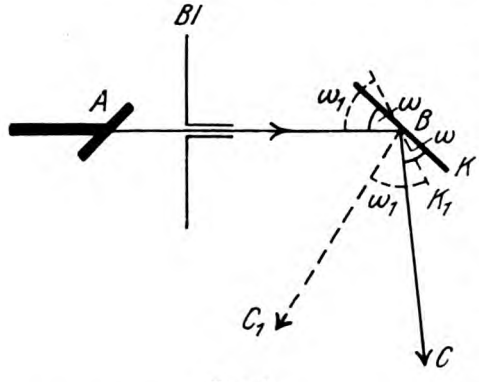


Fig. 3.
Strahlengang des Bragg'schen Röntgenspektrometers.

Von außerordentlicher Wichtigkeit für die Röntgenstrahlen-Spektroskopie waren die Arbeiten der beiden Bragg über die Reflexion der Röntgenstrahlen an Kristallen (1913). Sie fanden, daß ein Kristall einen Röntgenstrahl in ähnlicher, wenn auch durchaus nicht in gleicher Weise reflektiert, wie ein Spiegel einen Lichtstrahl, insofern als der einfallende und der reflektierte Strahl mit der Spiegelebene bzw. der Grenzebene des Kristalls den gleichen Winkel bilden. Während aber bei der Lichtreflexion an einem Spiegel ausschließlich die reflektierende Fläche des letzteren wirksam ist, sind bei der Röntgenstrahlen-Reflexion an einem Kristall nicht allein dessen Grenz- oder Spaltflächen, sondern auch Ebenen maßgebend, welche die Atome im Innern des Kristalls miteinander bilden, die sog. Netzebenen. Ferner wird — und dies bildet einen weiteren sehr wichtigen Unterschied zwischen den beiden Strahlenarten — beim Lichtstrahl jeder einzelne Strahl des Strahlengemisches, also jeder Strahl beliebiger Wellenlänge in gleicher Richtung reflektiert, während vom Röntgenstrahlenbündel nur Strahlen einer einzigen, bestimmten Wellenlänge unter einem bestimmten Winkel reflektiert werden. Es entspricht also jedem Reflexionswinkel nur ein Röntgenstrahl ganz bestimmter Wellenlänge. Läßt man daher ein Röntgenstrahlengemisch auf einen Kristall fallen und dreht den letzteren, so werden immer andere Strahlenarten (d. h. Strahlen anderer Wellenlänge) reflektiert, und man erhält auf diese Weise die einzelnen im Strahlen-

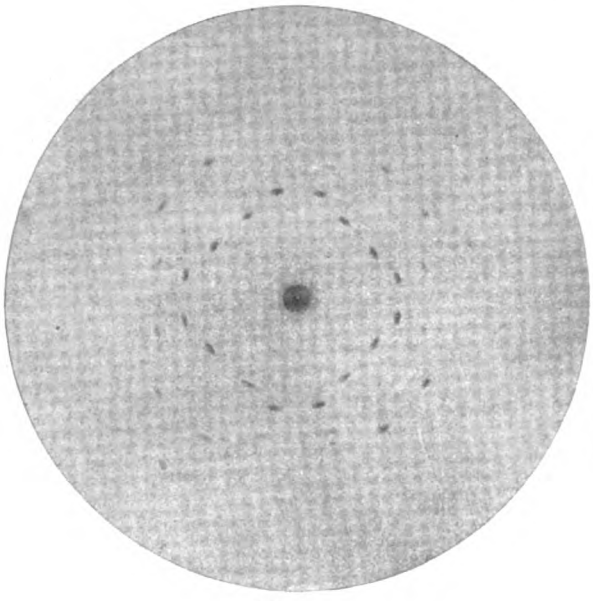


Fig. 1.

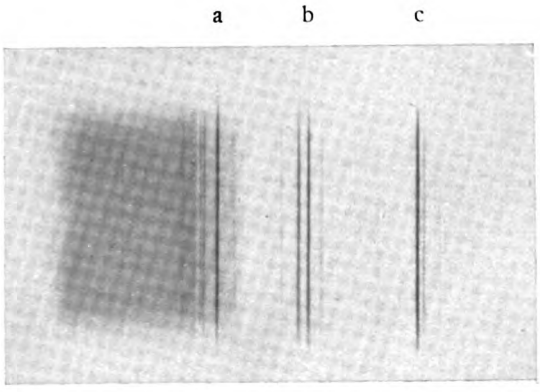


Fig. 4.

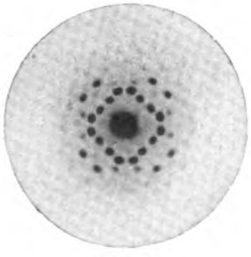


Fig. 2.

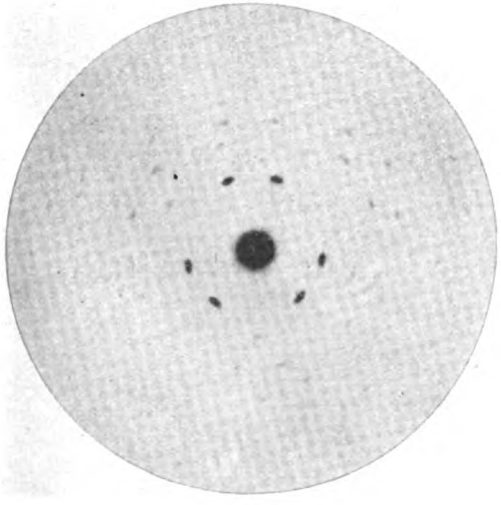


Fig. 3.

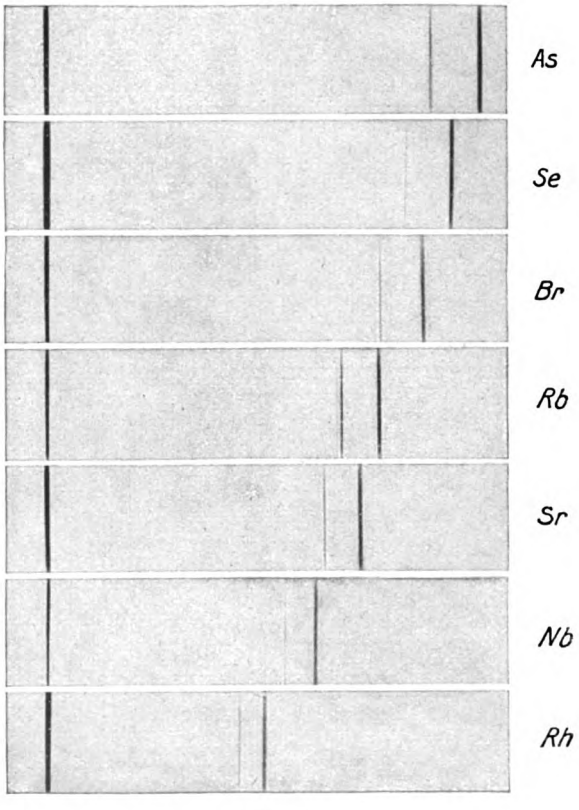


Fig. 5.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

gemisch enthaltenen Strahlenarten getrennt. In Fig. 3 bedeutet A die Antikathode einer Röntgenröhre, Bl eine Bleiblende, K den drehbaren Kristall. Aus dem Röntgenstrahlengemisch AB, das unter dem Winkel w (Glanzwinkel) auf den Kristall trifft, wird nur ein Strahl ganz bestimmter Wellenlänge BC reflektiert. Wird K in die Lage K_1 gedreht, so wird der Glanzwinkel w_1 größer und der reflektierte Strahl BC_1 hat eine andere und zwar größere Wellenlänge als BC; letztere nimmt nämlich zu, wenn der Glanzwinkel wächst. Ist für eine bestimmte Lage des Kristalls kein reflektierter Strahl vorhanden, so bedeutet dies, daß in dem Strahlengemisch Strahlen der entsprechenden Wellenlänge nicht enthalten sind.

Fig. 4 zeigt das Prinzip der Braggschen Versuchsanordnung. Die von der Antikathode A der Röntgenröhre ausgehende Strahlung fällt durch eine enge Bleiblende B auf den Kristall K, der um die senkrecht auf der Zeichenebene stehende Achse X gedreht werden kann. Der reflektierte Strahl fällt in eine Ionisationskammer J, die jeweils um den doppelten Winkel wie der Kristall um die Achse X gedreht werden muß, und ionisiert die in ihr befindliche Luft, macht sie also elektrisch leitend. (Siehe S. 37.) Mittels eines Elektrometers kann daher der reflektierte Strahl nicht nur nachgewiesen, sondern es kann auch seine Intensität gemessen werden, die um so größer sein muß, je größer der Elektrometerausschlag ist. Auf diese Weise läßt sich somit bestimmen, welche Strahlenwellenlängen in einem Gemisch enthalten sind und welche Intensität jeder Strahl bestimmter Wellenlänge besitzt.

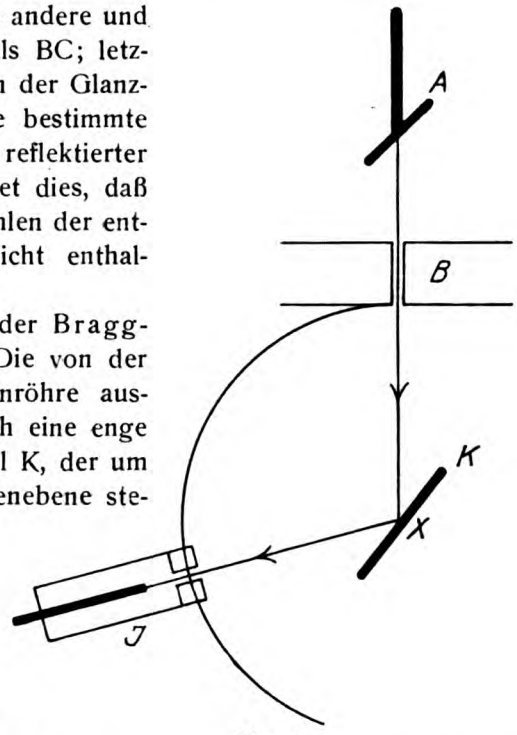


Fig. 4.
Schema des Bragg'schen Röntgenspektrometers.

De Broglie hat zum Nachweis des reflektierten Strahls statt der Ionisationskammer die photographische Platte benutzt und erhielt so Röntgen-Spektrogramme, die sowohl das kontinuierliche Spektrum (der Bremsstrahlung) als auch das Linienspektrum (der Fluoreszenzstrahlung) wiedergeben.

Fig. 4, Tafel I gibt ein sehr schönes, von E. Wagner im Jahre 1915 in der Physikalischen Zeitschrift Band 16 Seite 30 veröffentlichtes Röntgen-Spektrum wieder, das unter Verwendung eines Steinsalzkristalls und einer Röntgenröhre mit Platin-Antikathode erhalten wurde. Die scharfen Linien rühren von der Fluoreszenzstrahlung des Platins der Antikathode her, das kontinuierliche Spektrum links von a von den Bremsröntgenstrahlen. Daß letzteres nicht auch rechts von a sichtbar ist, liegt daran, daß dieser Teil des Spektrums nur relativ kurz exponiert wurde, um eine Überexposition der Linien b und c zu vermeiden.

Die Methoden zur Darstellung von Röntgen-Spektren wurden nach den Braggschen Arbeiten von Moseley, Siegbahn, E. Wagner, Seemann, Debye und Scherrer u. a. weiter ausgebaut und zu einer hohen Vollkommenheit gebracht. Hierbei wurden Gesetzmäßigkeiten der Röntgen-Spektren entdeckt, die uns außerordentlich wertvolle Einblicke in den Zusammenhang der Eigenstrahlung der chemischen Elemente mit ihrer Stellung im Periodischen System brachten, ferner äußerst wichtige Aufklärungen über die Struktur der Kristalle und über den Atombau. Leider gestattet es der mir zur Verfügung stehende Raum nicht, näher hierauf einzugehen. Für diejenigen, die sich mit diesen interessanten Untersuchungen eingehender beschäftigen wollen, führe ich aus der außerordentlich umfangreichen Literatur nur die nachfolgenden zusammenfassenden Arbeiten an:

Bragg, W. L., Die Reflexion der Röntgenstrahlen (Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik, Band XI, S. 346—391, 1914).

Siegbahn, M., Bericht über die Röntgenspektren der chemischen Elemente (ibid. Band XIII, Heft 3, S. 296—341, 1916).

Siegbahn, M., Bericht über die letzte Entwicklung der Röntgenspektroskopie (ibid. Band XVIII, Heft 3, S. 240—292, 1921).

Wagner E., Bericht über das kontinuierliche Röntgenspektrum (ibid. Band XVI, Heft 2, S. 190—230, 1919).

Wagner, E., Über Röntgenspektroskopie (Physikalische Zeitschrift, Band XVIII, S. 405, 432, 461, 488, 1917).

Sommerfeld, A., Atombau und Spektrallinien (Braunschweig, F. Vieweg & Sohn, 3. Aufl., 1922).

Zwei Röntgen-Spektrometer sollen hier noch kurz beschrieben werden, weil sie in der praktischen Röntgenologie Anwendung fanden, nämlich dasjenige von Seemann und das von March, Staunig und Fritz. Das erstere — von Seemann Lochkamera-Spektrograph genannt — verwendet, ähnlich wie die Transmissionsmethode von Rutherford, einen ruhenden Kristall Kr (Fig. 5), der direkt vor dem Spalt S_1 angeordnet ist. Durch die Blende Bl fällt ein schmales Strahlenbündel auf den Kristall. An dessen Netzebenen wird es gebeugt und belichtet dann die photographische Platte P, vor welcher zweckmäßig

noch ein verschiebbarer Spalt S_2 angeordnet ist. Fig. 6 zeigt eine neuere Ausführungsform des Instrumentes für die röntgentherapeutische Praxis.

Wenn auch dadurch, daß der Kristall nicht bewegt wird, beim Seemannschen Instrument eine Vereinfachung gegenüber dem Braggschen erzielt wurde, so ist doch immer noch die lange Expositionszeit für die praktische Verwendung unerwünscht. In dieser Beziehung brachte das Spektrometer von March, Staunig und Fritz einen beachtenswerten Fortschritt. Es benützt das Prinzip des drehbaren Kristalls, wie das Braggsche Spektrometer, jedoch an Stelle der Ionisations-

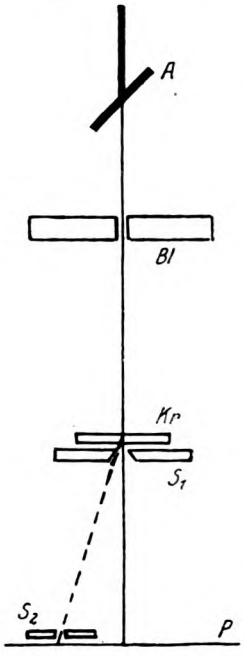


Fig. 5.
Schema des Seemannschen Spektrographen.

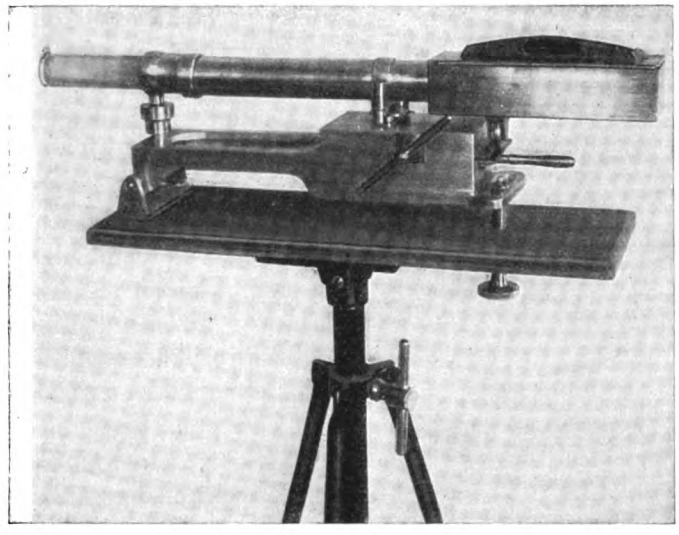


Fig. 6.
Seemann'scher Röntgen-Spektrograph für therapeutische Zwecke.

kammer, bzw. der photographischen Platte, einen Leuchtschirm. Außerdem unterscheidet es sich von der Braggschen Anordnung dadurch, daß das Röntgenstrahlenbündel den Kristall frontal trifft — wie bei der Anordnung von Friedrich, Knipping und Laue —, daß also als reflektierende Fläche nicht die Grenzfläche des drehbaren Kristalls benützt wird, sondern die inneren Atom-Netzebenen.

Fig. 7 zeigt schematisch das Spektrometer von March, Staunig und Fritz. R bedeutet die Röntgenröhre, B_1 und B_2 zwei schlitzförmige Blenden, Kr den drehbaren Kristall und S den kreisförmig gebogenen Leuchtschirm. Das Instrument bezweckt nicht, das ganze Spektrum der

Röntgenstrahlung wiederzugeben, wie das Braggsche oder das Seemannsche, sondern nur die kürzeste Wellenlänge des Gemisches, die sogenannte „Grenzwellenlänge" des kontinuierlichen Spektrums.

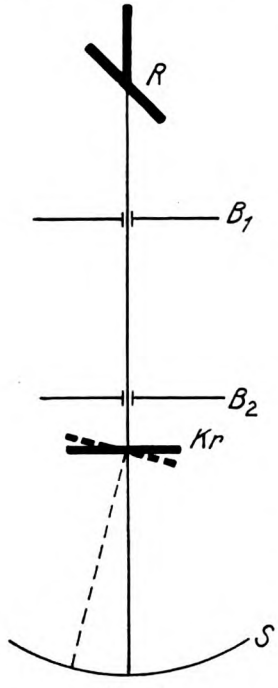


Fig. 7.
Schema des Röntgenspektrometers nach March, Staunig und Fritz.

Die von Duane und Hunt zuerst beobachtete Grenzwellenlänge spielt nämlich eine sehr wichtige Rolle für die Beurteilung des Röntgenstrahlengemisches. Sie hängt ausschließlich von der größten, an der Röntgenröhre liegenden elektrischen Spannungsdifferenz ab und ist um so kleiner, je größer die letztere ist. Dieses Resultat ist in voller Übereinstimmung mit dem Einsteinschen Gesetz

$$V = K \cdot \frac{1}{\lambda}$$

wo λ die Wellenlänge, V die elektrische Spannungsdifferenz und K eine Konstante bedeutet.

Die Grenzwellenlänge ist also unabhängig von der Wahl des Antikathodenmaterials. Dagegen hängt die Intensität der Strahlung von dem letzteren sehr wesentlich ab, und zwar ist sie proportional der Atomnummer des Antikathodenmaterials und annähernd proportional dem Quadrat der Anregungsspannung. Zu jedem Spannungswertgehört eine ganz bestimmte Wellenlänge, und da K = 12,358 ist, ergibt sich die folgende Tabelle, welche die Abhängigkeit der Grenzwellenlänge λ_0 von der Höchstspannung V zeigt:

Die Wellenlängen werden in Angström-Einheiten (Å) gemessen. $1\ \text{Å} = \frac{1}{100000000}\ \text{cm} = 10^{-8}\ \text{cm}$, die Spannungen in 1000 Volt (Kilovolt).

λ_0 in Å	V in Kilovolt	λ_0 in Å	V in Kilovolt	λ_0 in Å	V in Kilovolt	λ_0 in Å	V in Kilovolt
0,04	310	0,15	82,7	0,25	50,0	0,35	35,4
0,05	248	0,16	77,5	0,26	47,7	0,36	34,4
0,06	207	0,17	73,0	0,27	45,9	0,37	33,2
0,07	177	0,18	68,9	0,28	44,3	0,38	32,6
0,08	155	0,19	65,3	0,29	42,7	0,39	31,8
0,09	138	0,20	62,0	0,30	42,3	0,40	31,0
0,10	124,0	0,21	59,0	0,31	40,0	0,41	30,2
0,11	112,7	0,22	56,4	0,32	38,7	0,42	29,5
0,12	103,5	0,23	53,9	0,33	37,6	0,43	28,8
0,13	95,4	0,24	51,7	0,34	36,5	0,44	28,2
0,14	88,6						

Wenn wir also die an der Röntgenröhre liegende Höchstspannung bestimmen könnten, so wäre uns damit auch ohne weiteres die „Grenzwellenlänge“ gegeben. Die üblichen Spannungsmesser der Röntgenapparate geben uns jedoch nicht die Höchstspannung, sondern Mittelwerte an. Nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen, z. B. wenn die Spannungskurve des durch die Röntgenröhre fließenden Stromes eine Sinuslinie ist, läßt sich aus dem Mittelwert der Höchstwert der Spannung ermitteln. Deshalb sind die bei Röntgenapparaten häufig angegebenen Spannungswerte nur mit Vorsicht zu beurteilen.

Wenn man die Wellenlänge der Röntgenstrahlen in Angström-Einheiten als Abszisse, die Intensität der Strahlung als Ordinate aufträgt, so erhält man nach Ulrey für das kontinuierliche Röntgen-Spektrum Kurven, wie sie Fig. 8 zeigt, und zwar je nach der an der Röntgenröhre liegenden Höchstspannung verschiedene Kurven. So entspricht die Kurve I etwa einer Spannung von 30000 Volt, II einer solchen von 40000 und III von 50000 Volt. Alle Kurven zeigen, daß die kürzeste Wellenlänge λ_0 für eine bestimmte Spannung nicht allmählich, sondern plötzlich auftritt und daß von da ab die Intensität rasch zu einem Maximum ansteigt, um dann wieder allmählich abzunehmen. Die Maxima der einzelnen Kurven rücken um so mehr nach der Seite der kürzeren Wellenlängen, je höher die Spannung ist. Nach March ist durch die kürzeste Wellenlänge, bei Betrieb der Röntgenröhre mit konstanter Spannung, die relative Zusammensetzung des Strahlengemisches (nicht aber dessen Intensität) eindeutig bestimmt. Aber auch bei periodisch veränderlicher Spannung — wie sie bei den praktisch verwendeten Röntgenapparaten tatsächlich vorhanden ist — ist dies nach Behnken annäherungsweise der Fall. Die kürzeste Wellenlänge entspricht natürlich auch hier dem Höchstwert der Spannungskurve.

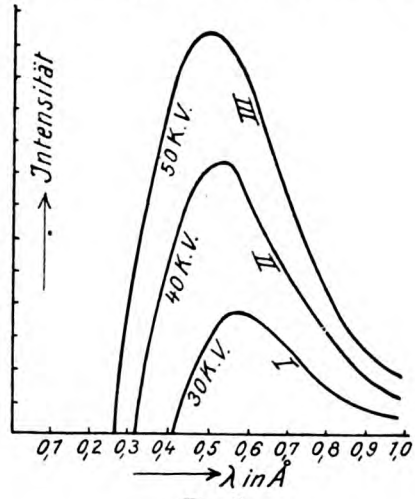


Fig. 8.
Abhängigkeit der Röntgenstrahlen-Intensität von der Wellenlänge für verschiedene Spannungen.

Das erwähnte plötzliche Auftreten der kürzesten Wellenlänge im Röntgen-Spektrum verwenden nun March, Staunig und Fritz bei ihrem Röntgen-Spektrometer.

In Fig. 9 ist die neueste Ausführung des letzteren abgebildet.

In der Mitte zwischen der schlitzförmigen Blende O (vor welcher die Röntgenröhre angeordnet ist) und dem kreisförmig gebogenen Leuchtschirm S befindet sich der Kristall, der mittels des Rades K gedreht werden kann. Auf dem mit Bleiglas versehenen Leuchtschirm S leuchtet eine helle Linie auf, sobald ein von dem Kristall reflektierter Strahl auf ihn fällt. Der direkte Strahl wird hierbei mittels einer Blende, welche durch Drehen von D in den Strahlenweg gebracht wird, abgeblendet. Die Messung der Wellenlänge des Grenzstrahls erfolgt mit Hilfe zweier beweglicher phosphoreszierender Zeigermarken Z_1 und Z_2, von welchen die eine mit einer Meßskala versehen ist. Wird der Kristall gedreht, so sieht man bei eingeschalteter Röntgenröhre auf dem Schirm S eine senkrecht stehende feine Linie erscheinen, die sich im gleichen Sinne wie der Kristall bewegt. Da, wie oben erwähnt, in jeder Stellung des Kristalls nur eine bestimmte im Strahlengemisch enthaltene Wellenlänge reflektiert wird, so erscheinen nacheinander alle in der Strahlung enthaltenen Wellenlängen, im Gegensatz zum optischen Spektrum, bei welchem alle Wellenlängen gleichzeitig auftreten.

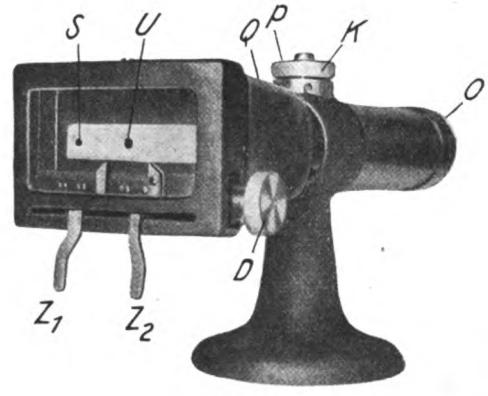


Fig. 9.
Röntgen-Spektrometer nach March, Staunig und Fritz.

Beobachtet man die leuchtende Linie während der Drehung des Kristalls, so bemerkt man, daß sie an einer Stelle plötzlich verschwindet, und wenn man den Kristall wieder zurückdreht, ebenso plötzlich wieder auftritt. Diese Stellung entspricht der kürzesten Wellenlänge. Die Größe der letzteren in Angström-Einheiten kann mittels der Zeiger Z_1 und Z_2 ohne weiteres auf der Skala abgelesen werden.

Erwähnt möge noch werden, daß auch die Zentrierung des Spektrometers rasch und in einfacher Weise vorgenommen werden kann und daher die Ablesung der Grenzwellenlänge nur wenig Zeit erfordert.

Wenn ich mich nun der Frage zuwende,

Wie entstehen die Röntgenstrahlen?

so muß ich vorausschicken, daß die neuere physikalische Forschung die Elektrizität atomistisch auffaßt und — auf Grund hier nicht weiter auszuführender Experimente und Überlegungen — zu dem Re-

sultat gelangte, daß ein Atom der Elektrizität, also ein elektrisches Urteilchen, das Elektron genannt wird, nur etwa den 1800sten Teil der Masse vom kleinsten uns bekannten materiellen Atom (Wasserstoff) besitzt. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich solche Elektronen — wie sie etwa in den von uns verwendeten Röntgenröhren vorhanden sind — bewegen, beträgt zirka 100000 Kilometer pro Sekunde, also etwa ein Drittel der Lichtgeschwindigkeit.

Überall, wo ein derartig schnell bewegtes Elektron auf ein materielles Teilchen auftrifft, entsteht eine Erschütterung des das Teilchen umgebenden Äthers, analog einem auf einen Körper auftreffenden Geschoß, das nicht nur eine Erschütterung des Körpers selbst hervorruft, sondern auch die ihn umgebende Luft in Schwingungen versetzt; letztere pflanzen sich von der Auftreffstelle aus nach allen Richtungen hin fort und kommen uns als Geräusch zum Bewußtsein. Ähnlich können wir uns vorstellen, daß bei dem Auftreffen des Elektrons auf ein Atom in dessen Umgebung Ätherwellen hervorgerufen werden, die sich von der Auftreffstelle aus nach allen Richtungen hin fortpflanzen, und diese Ätherwellen sind die Röntgenstrahlen.

Nach den Gesetzen der Elektrodynamik muß jedes elektrische Teilchen, das eine Änderung seiner Bewegungsgeschwindigkeit oder seiner Bewegungsrichtung erfährt, eine Ätherwelle aussenden, und nach diesen Gesetzen läßt sich auch — wenigstens annäherungsweise — berechnen, wie lange eine solche Ätherwelle dauert; diese Dauer ist abhängig von der Geschwindigkeit, mit welcher das Elektron auftrifft, und zwar ist sie um so kürzer, die Wellenlänge also um so kleiner, je größer die Geschwindigkeit des Elektrons war. Es ergibt sich nun, daß die Dauer — natürlich nur ganz annäherungsweise — etwa nur ein Zehntausendstel von derjenigen der Lichstrahlenätherschwingungen ist, und da sich alle Ätherschwingungen mit der Geschwindigkeit des Lichtes (300000 km per Sek.) fortpflanzen, folgt, daß die Wellenlänge auch nur etwa $^1/_{10000}$ von derjenigen der Lichtstrahlen beträgt.

Außer den durch die plötzliche Arretierung (Bremsung) der auftreffenden Elektronen erzeugten Röntgenstrahlen, die man „Bremsstrahlung“ nennt, treten von der Auftreffstelle der Kathodenstrahlen auch noch Röntgenstrahlen aus, die nach Barkla und Sadler „Fluoreszenz-Röntgenstrahlen“ genannt werden, weil sie, ähnlich wie Fluoreszenzlicht, nur von dem Material des Auftreffkörpers abhängig sind. Wenig Fluoreszenz-Röntgenstrahlung geben Auftreffkörper von geringem Atomgewicht, z. B. Kohle und Aluminium, relativ viel solche aus Metallen von hohem Atomgewicht, wie z. B. Platin, Iridium oder Wolfram. Dies ist mit ein Grund, weshalb man die letztgenannten Metalle in den Röntgenröhren als Material für die Stelle, auf welche die

Elektronen auftreffen, verwendet. Die Härte der Fluoreszenzstrahlung hängt ausschließlich von der Art des Körpers ab, an dem sie entsteht, und zwar ist sie um so größer, je größer das Atomgewicht — oder richtiger die Atomnummer „Z“ — des chemischen Elementes ist, das sie aussendet. Es kommt hierbei weder auf den physikalischen noch auf den chemischen Zustand an, in dem sich das Element befindet. Daher ist es gleichgültig, ob es fest, flüssig oder gasförmig ist, oder ob es als Element oder als chemische Verbindung oder als Mischung bzw. Legierung verwendet wird.

Damit ein Körper Fluoreszenzstrahlung aussendet, müssen die auftreffenden Elektronen eine Mindestgeschwindigkeit besitzen (d. h. die Röntgenröhre muß mit einer Mindestspannung betrieben werden), die um so größer sein muß, je größer die Atomnummer des Elementes ist.

Wie schon erwähnt, ist die Brems-Röntgenstrahlung inhomogen; sie ist aus Strahlen der verschiedenartigsten Wellenlängen zusammengesetzt und gibt, ähnlich wie weißes Licht, ein kontinuierliches Spektrum. Die Fluoreszenzstrahlung dagegen hat ein Linienspektrum, und zwar entsprechen jedem Element, das als Antikathode benützt wird, ganz bestimmte Spektrallinien (Wellenlängen). Fig. 4 Tafel I (siehe auch S. 8) zeigt z. B. die Linien der Platinantikathode und einen Teil des kontinuierlichen Spektrums der Bremsstrahlung. Bei anderen Antikathoden erhält man andere Linien, und zwar treten letztere für jedes Element in bestimmten, verschieden harten Serien auf, die man als „K“-, „L“-, „M“- und „N“-Serien bezeichnet. Moseley hat außerordentlich interessante und wichtige Untersuchungen über die Fluoreszenz-Spektren angestellt, die ergaben, daß die Atomnummer „Z“ der Elemente direkt proportional der Quadratwurzel aus der Schwingungszahl $\left(\frac{1}{\lambda}\right)$ der Fluoreszenzstrahlung ist. (Moseleysches Gesetz.) Fig. 5 Tafel I zeigt als Beispiel die Spektren der „K“-Strahlung einiger Elemente (nach „Siegbahn“).

Nach dem Vorstehenden entstehen also Röntgenstrahlen überall da, wo bewegte Elektronen gegen ein Hindernis, gegen irgendein materielles Teilchen stoßen. Das letztere kann einem festen, einem flüssigen, oder auch einem gasförmigen Körper angehören. Natürlich ist die Heftigkeit des Anstoßes und damit auch die ausgestrahlte Energiemenge um so größer, je größere Geschwindigkeit das Elektron in dem Augenblick besitzt, in welchem es auf das Hindernis auftrifft. Die Geschwindigkeit ist aber, unter sonst gleichen Umständen, um so größer, je größer die elektrische Spannungsdifferenz (Anregungsspannung) ist, welche die Bewegung des Elektrons verursacht.

Es folgt hieraus, daß wir, um starke Röntgenstrahlenwirkungen zu erhalten, auch dafür sorgen müssen, daß die Geschwindigkeit des Elektrons, also die elektrische Spannungsdifferenz, eine genügend große ist.

Je größer letztere und damit auch die Elektronengeschwindigkeit ist, desto energischer ist der Ätherstoß, desto durchdringungsfähiger sind die Röntgenstrahlen, und umgekehrt, je langsamer sich die Elektronen bewegen, desto weniger durchdringungsfähig sind jene. Man nennt erstere harte, letztere weiche Röntgenstrahlen und dementsprechend die sie liefernden Röntgenröhren harte bzw. weiche Röhren.

Wie können wir nun die schnell bewegten Elektronen erhalten? Es gibt verschiedene Methoden zu ihrer Erzeugung, jedoch werden in der praktischen Röntgenologie nur zwei angewendet. Die eine besteht darin, daß man hochgespannte elektrische Ströme durch Glasgefäße leitet, aus welchen die Luft bis auf geringe Mengen entfernt worden ist (Ionen-Röhren), die andere darin, daß man die hochgespannten Ströme durch möglichst hochevakuierte Gefäße leitet. Da durch letztere elektrische Entladungen ohne weiteres nicht hindurchgehen, wird als Kathode ein glühender Körper (Glühdraht) verwendet, der stets Elektronen abgibt. Die angelegte Hochspannung erteilt dann diesen Elektronen die gewünschte Geschwindigkeit (Elektronen- oder Glühkathoden-Röhren).

Der Vorgang der Elektrizitätsleitung in den Ionenröhren ist ein ganz anderer als der in den Elektronenröhren.

Bei den Ionenröhren geschieht sie mit Hilfe der Gasmoleküle als sog. „unselbständige Strömung", bei den Elektronenröhren als „selbständige". Die erstere kommt dadurch zustande, daß die in der Röntgenröhre in relativ geringer Anzahl vorhandenen Gasmoleküle durch das Aufprallen einzelner Ionen oder Elektronen in positiv geladene Atome (positive Ionen) und in Elektronen gespalten werden. Diesen Vorgang nennt man Stoßionisation. Die positiven Ionen werden von der Kathode angezogen und bilden die Goldsteinschen Kanalstrahlen (Anodenstrahlen). Die neugebildeten Elektronen dagegen werden von der Kathode abgestoßen und bilden die Kathodenstrahlen. Je nachdem eine mehr oder weniger große Zahl von Gasmolekülen noch in der Röhre vorhanden ist, werden die Stoßionisation, dementsprechend natürlich auch die Kathodenstrahlen und damit endlich auch die Röntgenstrahlen verschieden sein. Es hängt deshalb die Wirksamkeit und die Strahlenart der Ionenröhren in hohem Grade von dem mehr oder weniger großen Gasrest in der Röhre — d. h. dem geringeren oder höheren Vakuum — ab.

Ganz anders bei den Elektronenröhren, bei welchen die Strömung eine selbständige ist. Hier werden die Elektronen nicht erst durch den die Röhre durchfließenden Strom erzeugt, sondern unabhängig von diesem durch einen glühenden Metalldraht, der, wie oben schon erwähnt, stets Elektronen abgibt. Zur Stromleitung sind also keine Gasatome notwendig; diese sind vielmehr um eine möglichst reine selbständige Strömung zu erhalten, soweit dies überhaupt erreicht werden kann, aus der Röhre zu entfernen; letztere soll also das höchstmögliche Vakuum besitzen.

Da die ursprünglich zu Vakuum-Versuchen benützten Gefäße meistens Röhrenform besaßen, nennt man auch heute noch die Glasgefäße, welche zur Erzeugung von Röntgenstrahlen dienen, Röntgenröhren, trotzdem sie fast allgemein Kugelform besitzen.

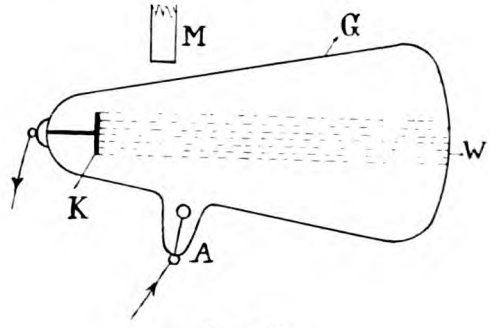


Fig. 10.

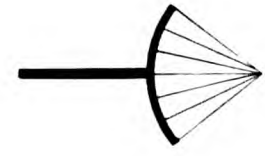


Fig. 11.

In Fig. 10 stellt G ein solches Gefäß dar. Der Strom tritt bei A ein, bei K aus; die mit A verbundene Elektrode heißt Anode, die mit K verbundene Kathode. An letzterer treten, wenn der Strom durch die Röhre fließt, eigentümliche Strahlen auf, die obenerwähnten „Kathodenstrahlen", welche im Jahre 1859 von Plücker entdeckt und 1869 von Hittorf näher erforscht wurden. Im Jahre 1874 hat der Engländer Sir William Crookes die Kathodenstrahlen wieder entdeckt und sie eingehend untersucht. Eine große Zahl von Physikern, von welchen neben Hittorf und Crookes in erster Linie E. Goldstein zu nennen ist, ferner Heinrich Hertz, P. Lenard, E. Wiedemann, J. J. Thomson u. a., haben diese Strahlen aufs genaueste studiert. Hierbei ergab sich, daß die Kathodenstrahlen aus den oben erwähnten, zur Erzeugung der Röntgenstrahlen so wichtigen schnell bewegten Elektronen bestehen.

Es entstehen somit Röntgenstrahlen überall da, wo Kathodenstrahlen auf einen Körper auftreffen. Den Auftreffkörper nennt man „Antikathode".

Die erste von Röntgen verwendete Vakuumröhre hatte die in Fig. 10 abgebildete Form; die Röntgenstrahlen gingen von der Innenseite der Glaswand W aus, welche die Antikathode bildete.

Da von der Art der Kathodenstrahlen auch die Art der Röntgenstrahlen abhängt, dürfte es angezeigt sein, hier wenigstens einige der wichtigsten Eigenschaften der Kathodenstrahlen zu besprechen.

Die Kathodenstrahlen stellen nicht den Weg des durch die evakuierte Röhre fließenden elektrischen Stromes dar; dieser verläuft im allgemeinen ganz anders, in der in Fig. 10 skizzierten Röhre z. B. von A durch das verdünnte Gas hindurch nach K, während die Kathodenstrahlen von K aus nahezu geradlinig bis W verlaufen.

Wenn auf einen Kathodenstrahl keine anderen Kräfte einwirken, so verläßt er die Kathode im allgemeinen senkrecht zu ihrer Fläche, wie es in Fig. 10 schematisch dargestellt ist.

Krümmen wir daher die Kathode einer Röntgenröhre nach einer Kugelfläche, so müßten sich die Kathodenstrahlen in einem Punkte, dem Mittelpunkte der Kugelfläche, schneiden (siehe Fig. 11). Wir würden somit, falls wir dort die Antikathode anbringen, eine punktförmige Ausgangsstelle der Röntgenstrahlen erhalten, was, wie wir später sehen werden, für die Herstellung scharfer Röntgenbilder von großer Wichtigkeit ist. Wie erwähnt, verlaufen aber die Kathodenstrahlen nur dann senkrecht zur Kathodenfläche, wenn keine anderen Kräfte auf sie wirken. Treten aber solche — wie bei unseren Röntgenröhren — auf, so ist die Bahn der Kathodenstrahlen keine geradlinige mehr; letztere können dann natürlich durch eine kugelförmig gekrümmte Kathode auch nicht mehr in einem Punkt vereinigt werden.

Die Kräfte, welche auf einen Kathodenstrahl ablenkend einwirken, können zweierlei Art sein: entweder magnetische oder elektrostatische.

Wenn man einen Magnet in die Nähe eines Kathodenstrahlenbündels bringt (z. B. bei der in Fig. 10 skizzierten Röhre bei M), so erkennt man dessen Ablenkung leicht infolge der Eigenschaft der Kathodenstrahlen, manche Körper zum Leuchten (Fluoreszieren) zu bringen. Zu solchen Körpern gehört auch Glas, und zwar leuchtet es je nach seiner chemischen Zusammensetzung verschieden, z. B. blau oder grün. Bei dem für Röntgenröhren verwendeten Glas ist gewöhnlich letzteres der Fall. Die Stelle W des Glases (Fig. 10), auf welche das Kathodenstrahlenbündel auftrifft — die Antikathode —,

leuchtet somit grün. Sobald wir den einen Pol des Magneten in die Nähe der Kathodenstrahlen bringen, wird der leuchtende Fleck W nach der einen, durch den anderen Pol nach der entgegengesetzten Seite verschoben.

Die Ablenkung eines Kathodenstrahles ist um so größer, je größer die magnetische Feldstärke, d. h. je stärker der Magnet ist, und je kleiner die Geschwindigkeit ist, mit der die Elektronen — aus welchen, wie wir sahen, der Kathodenstrahl besteht — sich bewegen. Dieses Verhalten ist ähnlich dem eines Wasserstrahls, der von einem Windstoß um so stärker aus seiner Bahn abgelenkt wird, je stärker der Windstoß und je geringer die Geschwindigkeit ist, mit welcher sich die einzelnen Wassertropfen des Strahles bewegen.

Aus diesem Verhalten der Kathodenstrahlen läßt sich nun unschwer ermitteln, welcher von zwei verschiedenen Kathodenstrahlen die größere Geschwindigkeit besitzt — natürlich derjenige, der durch ein und dasselbe magnetische Feld weniger stark abgelenkt wird. Vergleicht man nun die durch beide Kathodenstrahlenarten erzeugten Röntgenstrahlen bezüglich ihrer Durchlässigkeit miteinander, so zeigt sich, wie zu erwarten war, daß die schnelleren Kathodenstrahlen unter sonst gleichen Umständen die durchdringungsfähigeren (härteren) Röntgenstrahlen liefern. Auf gleiche Weise kann man auch erkennen, daß die Kathodenstrahlen um so schnellere sind (richtiger ausgedrückt, daß die Elektronen sich um so schneller bewegen), je höher die Röntgenröhre evakuiert ist, d. h. je mehr Luft aus ihr entfernt wurde, daß also von einer höher evakuierten Röntgenröhre härtere Röntgenstrahlen ausgehen.

Wenn ein Kathodenstrahlenbündel aus verschiedenartigen — langsameren und schnelleren — Kathodenstrahlen besteht, wie dies bei unseren Röntgenröhren tatsächlich der Fall ist, also aus Kathodenstrahlen mit langsamer bewegten Elektronen und solchen mit schneller bewegten, so muß nach Obigem durch die magnetische Ablenkung eine Trennung der Kathodenstrahlen stattfinden, da ja die schneller bewegten Elektronen weniger stark abgelenkt werden, als die langsamer bewegten. In der Tat erhält man auch auf diese Weise ein Spektrum der Kathodenstrahlen, und da — wie wir sahen — von der Art der Kathodenstrahlen die Art der Röntgenstrahlen abhängt, dementsprechend auch ein Spektrum der Röntgenstrahlen.

Auch durch elektrisch geladene Körper, die in die Nähe der Kathodenstrahlen gebracht werden, können diese abgelenkt werden. Da sich in unseren Röntgenröhren durch die zu ihrem Betrieb benötigten hochgespannten elektrischen Ströme die Glaswände stark elektrisch laden, spielen die hierdurch hervorgerufenen Ablenkungen des

Kathodenstrahlenbündels eine große Rolle, und ihnen ist es wenigstens teilweise zuzuschreiben, daß die Kathodenstrahlen, in dem oben erwähnten Beispiel einer kugelförmig gekrümmten Kathode, sich nicht in deren Krümmungsmittelpunkt vereinigen. Besonders bei weniger hoch evakuierten (sehr weichen) Röntgenröhren können wir den Verlauf der Kathodenstrahlen direkt beobachten, nicht weil wir die Kathodenstrahlen sehen können — denn sie sind für unser Auge unsichtbar —, sondern weil die Bahnen langsamer Kathodenstrahlen durch das Leuchten der von ihnen getroffenen Gasmoleküle sichtbar werden.

Fig. 12 zeigt schematisch eine der jetzt allgemein gebräuchlichen Ionenröhren. K ist die Kathode, A die Antikathode. Punktiert gezeichnet ist der Verlauf eines relativ langsamen Kathodenstrahlenbündels.

Das letztere erfährt in der Nähe der Antikathode eine wesent-

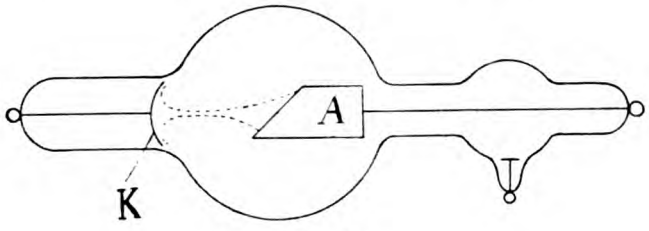


Fig. 12.
Ionenröhre (schematisch).

liche Verbreiterung, die, wenigstens teilweise, auf die elektrostatische Ablenkung der Kathodenstrahlen zurückzuführen ist. Die Antikathode wird nämlich, selbst wenn sie mit dem positiven Pol der Hochspannungsquelle verbunden ist, beim Auftreten von Kathodenstrahlen negativ geladen, und durch diese negative Ladung wird das Kathodenstrahlenbündel abgelenkt. (Deflexion nach Goldstein; siehe auch J. Rosenthal, Sitzungsber. d. phys. med. Soc. zu Erlangen. Dezbr. 1896.)

Von der Stelle, an welcher ein Kathodenstrahl auf ein materielles Teilchen auftrifft, gehen außer den Röntgenstrahlen teils reflektierte, teils neu gebildete Kathodenstrahlen (sekundäre Kathodenstrahlen) aus, welche einerseits das grüne Leuchten der vor der Antikathode gelegenen Halbkugel der Ionenröhre, anderseits die unerwünschte Erwärmung der Glaswand verursachen. Die Gesamtheit aller von der Antikathode ausgehenden verschiedenartigen Strahlen nannte ich „Antikathodenstrahlen". (Näheres hierüber siehe Verh. d. Deutsch. Röntgenges., Bd. II 1906, S. 82ff.: „Über eine neue Art von Röntgenröhren".)

Die Kathodenstrahlen haben die Eigenschaft, den Körper, von welchem sie ausgehen, zu zerstäuben, gewissermaßen materielle Teilchen von ihm loszureißen. Diese Zerstäubung ist für verschiedene Materialien sehr verschieden, z. B. relativ gering für Aluminium (weshalb die Kathoden der Ionenröhren aus diesem Metall hergestellt werden), sehr groß dagegen für Platin; daher muß möglichst vermieden werden, daß von der Antikathode stärkere Kathodenstrahlen ausgehen, was der Fall ist, wenn elektrische Ströme verkehrter Richtung durch die Röhre fließen.

Ich verdanke dem verstorbenen Dozenten Dr. Alexander, Budapest, von einer in Betrieb befindlichen Röntgenröhre zwei Photographien, welche sehr schön die Kathodenstrahlen und einige andere in der Röntgenröhre auftretende Erscheinungen zeigen. (Tafel II Bild 1 und 2.) Beide Bilder sind im dunklen Raum mittels einer photographischen Kamera aufgenommen und nur durch das eigene Licht der Röhre erzeugt, sodaß von dieser nur die selbstleuchtenden Teile und die von letzteren beleuchteten sichtbar sind. (Tafelbild 1 zeigt die Röhre von der Seite, Bild 2 von vorn.) Man erkennt an diesen Bildern manches, was man an der leuchtenden Röhre im Dunkelraum nicht unmittelbar sehen kann, weil die photographische Platte auch für Strahlen empfindlich ist, die unser Auge nicht beeinflussen. Sehr schön ist die Halbteilung der Glaskugel zu erkennen, die jedoch nicht mit der Ebene der Antikathode zusammenfällt, sondern merklich vor ihr liegt. Die im Bild I befindlichen Zahlen bedeuten:

1. Kathode.
2. Eine aus der Kathode austretende leuchtende Garbe, die nur in der Photographie sichtbar war.
3. Die Bahn des Kathodenstrahlenbündels; sie ist nur bei sehr weichen Röhren für das Auge unmittelbar erkennbar, sonst nur auf der photographischen Platte. Die direkt vor der Fläche der Antikathode befindliche helle Stelle, die gleichfalls nur auf der Photographie deutlich sichtbar ist, dürfte zum Teil von den deflektierten Kathodenstrahlen herrühren, außerdem aber auch von den obenerwähnten „Antikathodenstrahlen".
4. Anode.
5. Spiegelbild der Kathode an der Glaswand der Röhre. Man erkennt im Zentrum dieses Spiegelbildes die Ausgangsstelle des Kathodenstrahlenbündels; der diese umgebende Ring dürfte von der kreisförmigen Basis der unter 2 erwähnten Garbe herrühren.

Die mit 6 bezeichnete Stelle des Bildes ist nach Alexander eine Leuchterscheinung, die vor dem Antikathodenspiegel liegt und durch einen Magneten nicht abgelenkt wird.

Durch die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen sowohl als durch die elektrostatische können in unseren Röntgenröhren häufig sehr unerwünschte Erscheinungen hervorgerufen werden, so z. B., wenn die Röntgenröhre sich in der Nähe größerer Eisenmassen, z. B. des sie speisenden Induktoriums, befindet. Letzteres besitzt bekanntlich einen starken magnetischen Eisenkern, der nicht nur eine Ablenkung des Kathodenstrahlenbündels verursachen kann, sondern, wie schon ausgeführt, auch eine Verbreiterung. Die Folge hiervon ist, wie wir später sehen werden, eine Verschlechterung des Röntgenbildes.

Auch das vielfach beobachtete Wandern des Auftreffpunktes der Kathodenstrahlen, den man „Fokus" nennt, ist auf Ablenkungen durch elektrostatische Ladungen zurückzuführen. Desgleichen auch das unruhige Leuchten sehr hochevakuierter Ionenröhren, bei welchen die Glaswand natürlich viel stärker elektrisch geladen ist, als bei Röhren mit weniger hohem Vakuum. (Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß das unruhige Leuchten der Röntgenröhre nicht immer auf die elektrostatischen Ladungen zurückzuführen ist, sondern auch durch die Verwendung ungeeigneter Röntgenapparate bzw. ungeeigneter Stromqualitäten verursacht werden kann.)

So unerwünscht uns, wie wir sahen, die elektrostatischen Glasladungen in unseren Röntgenröhren häufig auch sind, so benützen wir sie anderseits aber gerade wieder zu einer erwünschten Beeinflussung des Kathodenstrahlenbündels, indem wir bei den Ionenröhren die Kathode nahe an der Glaswand anbringen, nämlich im Innern des Kathodenhalses der Röhre. Die richtige Größe des zwischen der Kathode und der Glaswand notwendigen Zwischenraumes ist hierbei von außerordentlicher Wichtigkeit für den Härtegrad sowohl als für das ruhige Arbeiten der Röhre und bildet einen der vielen Faktoren, welche bei der Herstellung von Ionenröhren besonders beachtet werden müssen.

Auch bei den Elektronenröhren verwenden wir die elektrostatische Beeinflussung des Kathodenstrahlenbündels zu dessen Konzentration, indem wir den Glühdraht mit einem elektrisch geladenen Zylinder (oder Konus) umgeben. Am einfachsten wird zu diesem Zweck letzterer mit der Glühkathode leitend verbunden. Er besitzt dann die gleiche Spannung wie diese und wirkt somit abstoßend auf

die einzelnen Strahlen des Kathodenstrahlenbündels und damit konzentrierend auf das letztere.

Wie die elektrostatische, so kann auch die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen dazu benützt werden, sie auf eine sehr kleine Fläche zu konzentrieren. Man braucht zu diesem Zwecke nur eine von Strom durchflossene Drahtspirale um die Achse des Kathodenstrahlenbündels zu legen; durch die elektromagnetische Wirkung der Drahtspirale wird dann eine starke Zusammenschnürung des Kathodenstrahlenbündels erzielt. Für die praktische Röntgenologie hat man dieses Verfahren aber wegen seiner Umständlichkeit nicht benützt.

Eine für die praktische Röntgenologie höchst unangenehme Eigenschaft der Kathodenstrahlen muß noch erwähnt werden: Sie erwärmen beim Auftreffen auf die Antikathode diese sehr stark.

Den Kathodenstrahlen wohnt nämlich eine ganz außerordentlich große Energie inne; nach E. Wiedemann und H. Ebert ist diese Energie etwa 140000mal so groß, als die des intensivsten Sonnenlichtes an der Erdoberfläche. Wenn man daher intensive Kathodenstrahlen auf eine kleine Fläche konzentriert, können sie schon in kleinen Bruchteilen einer Sekunde die schwerstschmelzbaren Metalle zum Schmelzen und Verdampfen bringen.

Diese unliebsame Eigenschaft der Kathodenstrahlen ist die Ursache, daß die mit den üblichen Röntgenröhren hergestellten Röntgenbilder nicht den hohen Grad von Schärfe zeigen, den wir — wenigstens in gewissen Fällen — benötigen, um feinste Differenzierung der einzelnen Körpergewebe zu erzielen. Wie unten näher ausgeführt werden wird, ist zur Herstellung solcher äußerst scharfer Röntgenbilder u. a. auch notwendig, daß der Fokus sehr klein ist. Da wir aber, um intensive Röntgenstrahlen zu erhalten, auch intensive Kathodenstrahlen verwenden müssen, schmilzt, wenn wir größte Schärfe mit intensiver Röntgenstrahlenwirkung vereinigen wollen, die metallische Antikathode an der Auftreffstelle der Kathodenstrahlen. Durch Schmelzen des Metalles kommen aber in die Röntgenröhre Metalldämpfe, welche das Vakuum verändern und die Eigenschaften der Röntgenröhre in sehr ungünstiger Weise beeinflussen. Wie wir vorgehen müssen, um dieses unerwünschte „Einbrennen" der Antikathode zu vermeiden, ist S. 50 und im Kapitel „Röntgentechnik" ausgeführt.

Der weitaus größte Teil der in die Röntgenröhre geleiteten elektrischen Energie wird in Wärme umgewandelt, die von den Kathodenstrahlen an der Antikathode und durch die Antikathodenstrahlen an der Glaswand und an der Kathode erzeugt wird. Nur etwa ein bis drei Promille der gesamten Energie tritt als Röntgenstrahlung auf; 997 bis 999

Tausendstel gehen somit bei der Energieumwandlung für den beabsichtigten Zweck verloren. Der Wirkungsgrad der Röntgenröhre ist also ein außerordentlich schlechter; er ist seit Entdeckung der Röntgenstrahlen fast nicht verbessert worden. Hier wäre der physikalischen Forschung ein dankbares Arbeitsgebiet gegeben. Schon im Jahre 1896 hatte ich in einem Vortrag in der physikalisch-medizinischen Sozietät zu Erlangen darauf hingewiesen, daß mit Hilfe eines kleinen Induktoriums bedeutend durchdringungsfähigere Röntgenstrahlen zu erzielen sind, wenn man zwischen Röhre und Induktorium eine Teslaanordnung schaltet, *„trotzdem durch die Transformation der Induktions- in Teslaströme ein großer Teil der aufgewandten Energie verloren ging. Offenbar sind die schnelleren und regelmäßigen Schwingungen der Teslaanordnung trotz der kleineren Amplitude und der geringeren gesamten bewegten Elektrizitätsmenge geeigneter, in dem Entladungsrohr Bewegungen hervorzurufen, die Röntgenstrahlen von großer Durchdringungskraft zu erzeugen imstande sind, als die ursprünglichen Entladungen des Induktoriums.“* (Aus d. Sitzungsber. d. physikal.-med. Soc. zu Erlangen 1896.) Hiernach dürfte der Röntgenstrahlen-Wirkungsgrad der Teslaanordnung ein besserer als der des Induktoriums sein.

Die hochgespannten elektrischen Ströme, welche zur Erzeugung der Röntgenstrahlen in die Vakuumröhre geleitet werden, können auf verschiedene Weise gewonnen werden. In dem Kapitel „Röntgentechnik“ (im zweiten Band des Lehrbuches) werden die hierzu nötigen Apparate näher besprochen werden. Hier seien nur einige kurze Bemerkungen allgemeiner Natur angeführt.

Der schon von Röntgen benützte Apparat zur Speisung der Vakuumröhre bestand in einem Induktorium, das auch heute noch sehr viel verwendet wird. Schon auf der 68. Naturforscher-Versammlung zu Frankfurt a. M. im Jahre 1896 habe ich ausgeführt (Über die Erzeugung intensiver Röntgenscher Strahlen. Verh. d. Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Physikal. Sektion, Frankfurt a. M., 1896), daß außer den Induktorien noch Teslaströme, ferner die Wechselströme von Hochspannungs-Wechselstrom-Transformatoren und endlich die Entladungen von Influenzmaschinen in Frage kämen. Letztere haben, wie damals schon, auch in der Zwischenzeit keine größere Anwendung gefunden, desgleichen auch nicht die Teslaströme; dagegen werden jetzt neben den Induktorien die Hochspannungs-Wechselstrom-Transformatoren — meistens unter Zwischenschaltung eines Hochspannungsgleichrichters — in der praktischen Röntgenologie vielfach verwendet. Über deren Bedeutung und Konstruktion wird im Kapitel „Röntgentechnik“ noch näher berichtet werden.

Nachdem im Vorstehenden ausgeführt worden ist, welche Vorstellungen man sich vom Wesen der Röntgenstrahlen macht, wie letztere entstehen und wie sie erzeugt werden, sollen nun die für die praktische Röntgenologie besonders in Frage kommenden

Eigenschaften der Röntgenstrahlen

besprochen werden.

Die Eigenschaft, welche den Röntgenstrahlen ihre große praktische Bedeutung verleiht, ist ihre eigenartige Absorption in verschiedenen Körpern, eigenartig im Vergleich zur Lichtstrahlen-Absorption; in Wirklichkeit ist letztere der kompliziertere Vorgang; sie erscheint uns nur einfacher, weil — wie so oft, auch hier — die Macht der Gewohnheit uns das Gewohnte auch als das Einfachere vortäuscht.

Ende 1895 drang zum erstenmal die Kunde in die Öffentlichkeit, daß der Würzburger Physiker, Professor Röntgen, Strahlen entdeckt habe, welche mit Leichtigkeit durch Körper hindurchgehen, die für Lichtstrahlen vollständig undurchlässig sind, und mit deren Hilfe es möglich sein sollte, ins Innere von undurchsichtigen Körpern zu schauen. Diese Nachricht hatte größtes Aufsehen hervorgerufen, trotzdem dem Physiker schon damals verschiedene Strahlenarten bekannt waren, die gleichfalls durch Körper hindurchgingen, welche für Licht undurchlässig waren. So wußte man dieses von Wärmestrahlen, welche z. B. eine undurchsichtige Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff unschwer passieren, ebenso auch von den Lenardstrahlen. Letztere sind Kathodenstrahlen, die durch ein außerordentlich dünnwandiges Fenster (z. B. verwendet Lenard Aluminiumblättchen von 0,00265 mm Dicke) aus der Vakuumröhre in die atmosphärische Luft oder in beliebig verdünnte Gase austreten. Auch im Innern von Vakuumröhren ließ man früher schon die Kathodenstrahlen durch verschiedene, für Licht undurchlässige Körper hindurchgehen und untersuchte sie vor und nach ihrem Durchgang.

Allein alle diese Strahlen waren nicht für den Zweck verwendbar, welchem gerade die Röntgenstrahlen ihre außerordentliche Wichtigkeit verdanken; sie konnten das Innere des menschlichen Körpers nicht zur Darstellung bringen. Die Lenardstrahlen sind zwar auch für weniger dichte Körper leichter durchgängig als für dichtere (die Absorption ist für sie nahezu proportional dem spezifischen Gewicht), aber die Durchdringungsfähigkeit der Kathodenstrahlen ist im Vergleich zu derjenigen der Röntgenstrahlen eine sehr geringe; sie werden deshalb schon von relativ dünnen Schichten nahezu vollständig absorbiert und können somit für diagnostische Zwecke keine Anwendung finden.

Man hat versucht, sie therapeutisch zu benützen, allein auch hierfür kommen sie wegen gewisser technischer Schwierigkeiten ihrer Erzeugung und wegen ihrer geringen Durchdringungsfähigkeit zur Zeit kaum in Frage.

Röntgen nannte die von ihm entdeckten Strahlen X-Strahlen, da sie Eigenschaften besaßen, welche die damals bekannten Strahlenarten nicht aufwiesen.

Die Durchlässigkeit verschiedener Körper für Lichtstrahlen ist bekanntlich unabhängig von deren Dichte sowohl, als von deren Atomgewicht; so ist z. B. das spezifisch schwere Bleiglas für Lichtstrahlen fast vollkommen durchlässig, das spezifisch leichte Holz ganz undurchlässig. Ebenso können Körper mit denselben Atomen für Lichtstrahlen durchlässig oder nicht durchlässig sein, je nach der Art der Gruppierung der Atome; als Beispiel möge der Kohlenstoff angeführt werden, der als Diamant für Licht sehr durchlässig, als Graphit dagegen undurchlässig ist.

Im Gegensatz hierzu haben die Röntgenstrahlen die Eigenschaft, daß sie ein chemisches Element um so leichter durchdringen, je kleiner dessen Atomgewicht ist und je geringer die Zahl der Atome in der Volumeneinheit, das heißt, je geringer seine Dichte (spezifisches Gewicht) ist. In dem oben erwähnten Beispiel des Kohlenstoffes ist daher für Röntgenstrahlen der Diamant ebenso durchlässig wie der Graphit, natürlich vorausgesetzt, daß die Schichtdicken beider so gewählt werden, daß in beiden Fällen die gleiche Anzahl von Atomen von den Röntgenstrahlen durchsetzt wird.

Röntgen hat in seiner ersten Arbeit „Über eine neue Art von Strahlen" die Durchlässigkeit eines Körpers für Röntgenstrahlen definiert als das Verhältnis *„der Helligkeit eines dicht hinter dem Körper gehaltenen Fluoreszenzschirmes zu derjenigen Helligkeit des Schirmes, welche dieser unter denselben Verhältnissen, aber ohne Zwischenschaltung des Körpers zeigt"*. Er konstatierte, daß mit zunehmender Dicke alle Körper weniger durchlässig werden und daß bei gleicher Dicke der durchstrahlten Schicht *„die Dichte nicht ganz allein maßgebend für die Durchlässigkeit sein kann"*; denn als er gleich dicke Platten aus Glas, Aluminium, Kalkspat und Quarz untersuchte, die bekanntlich ungefähr gleiches spezifisches Gewicht haben, zeigte sich, daß der Kalkspat beträchtlich weniger durchlässig war, als die übrigen drei Körper. Ein weiterer Versuch, den Röntgen anstellte, ergab, daß *„keineswegs gleiche Durchlässigkeit verschiedener Metalle vorhanden ist, wenn das Produkt aus Dichte und Dicke gleich ist"*. Er hatte aus Platin, Blei, Zink und Aluminium durch Auswalzen Bleche von solcher Dicke hergestellt, daß alle nahezu gleich durchlässig erschienen.

	Platin	Blei	Zink	Aluminium
Die Dicke der vier Bleche betrug in mm:	0,018	0,05	0,10	3,5
Die relativen Dicken, wenn diejenige von Platin gleich 1 gesetzt wird, sind dann annähernd:	1	3	6	200
Die Dichten der vier Metalle sind bekanntlich:	21,5	11,3	7,1	2,6
Somit die Produkte aus relativer Dicke und Dichte:	21,5	33,9	42,6	520

Hieraus ergibt sich, daß die Undurchlässigkeit eines Körpers für Röntgenstrahlen durchaus nicht proportional dem Produkt aus Dicke und Dichte ist.

In seiner dritten Arbeit „Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen" hat Röntgen die „spezifische" Durchlässigkeit eines Körpers die auf die Dickeneinheit reduzierte Durchlässigkeit genannt; *„dieselbe ist gleich der d—ten Wurzel aus der Durchlässigkeit, wenn d die Dicke der durchstrahlten Schicht, in der Richtung der Strahlen gemessen, bedeutet"*.

Die Absorption eines bestimmten Röntgenstrahles in einem einfachen Körper hängt, wie schon erwähnt, sowohl von dessen Dicke und von dessen Atomgewicht, als von dessen Dichte ab, sie ist dagegen unabhängig von der Art der Gruppierung der Atome, d. h. unabhängig von dem Aggregatzustand des Körpers, von seinem Kristallisationszustand usw. Flüssiges Brom absorbiert deshalb ebenso stark wie Bromdampf, wenn jeweils nur dieselbe Zahl von Atomen von dem Röntgenstrahl durchsetzt wird. Damit letzteres der Fall ist, muß die Schichtdicke des Dampfes natürlich im Verhältnis der Dichten von flüssigem und dampfförmigem Brom größer gemacht werden.

Auch gegenüber chemischen Verbindungen verhalten sich die Röntgenstrahlen ganz ähnlich. Die spezifische Durchlässigkeit einer solchen ist gleich der Summe der spezifischen Durchlässigkeiten der in ihr enthaltenen Atomarten. Wie die einzelnen Atomarten untereinander gebunden sind, ist hierbei ganz gleichgültig.

Besteht also beispielsweise eine chemische Verbindung oder eine Legierung aus zwei Elementen, so ist die Durchlässigkeit der Verbindung bzw. der Legierung gleich der Summe der Durchlässigkeiten der beiden Komponenten, wobei die Durchlässigkeit jeder der letzteren, außer von ihrem Atomgewicht, natürlich noch von der Anzahl der Atome abhängt, welche in der Volumeneinheit der Verbindung von jedem einzelnen Element vorhanden sind.

Daß die Durchlässigkeit eines Körpers nicht allein von seiner Dicke, seinem spezifischen Gewicht und seinem Atomgewicht abhängt,

sondern auch noch von der Art der verwendeten Röntgenstrahlen, geht deutlich aus einem einfachen Versuch, den ich vor langer Zeit anstellte, hervor: Die Metalle Zink und Zinn haben nahezu gleiches spezifisches Gewicht; ersteres 7,1, letzteres 7,2, dagegen ist das Atomgewicht von Zink = 65,37, dasjenige von Zinn = 119; vergleicht man nun bei Verwendung harter oder mittelharter Röntgenstrahlen die Durchlässigkeit zweier gleichdicker Bleche aus beiden Metallen, so erkennt man ohne weiteres, daß Zink durchlässiger ist als Zinn. Verwendet man dagegen immer weichere Strahlen, so wird die Differenz der Durchlässigkeiten immer geringer und schließlich bei sehr weichen Strahlen wird sogar das Zinn durchlässiger als das Zink. Dies hat seinen Grund in der „selektiven Absorption" der Elemente, auf die ich noch zurückkommen werde.

Von den chemischen Verbindungen sind in bezug auf ihre Durchlässigkeit zwei Gruppen für den Röntgenologen von besonderem Interesse: Erstens die die Weichteile der Menschen und Tiere vorwiegend bildenden Kohlenstoffverbindungen, welche hauptsächlich aus Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehen, also Elementen von relativ geringem Atomgewicht, und zweitens die in den Knochen vorhandenen Verbindungen des Kalziums und Phosphors, welche wesentlich höhere Atomgewichte besitzen. Hierauf beruht die Unterscheidung der Knochen und Weichteile in der Röntgendiagnose.

Allein auch die verschiedenartigen Weichteile, und ebenso die verschiedenartigen Knochen, sind je nach ihrer Zusammensetzung verschieden durchlässig für Röntgenstrahlen und lassen sich deshalb im Röntgenbild dann voneinander unterscheiden, wenn wir in der Lage sind, kleinere Differenzen noch darzustellen. Welche Bedingungen wir erfüllen müssen, um dies zu erreichen, wird noch auseinandergesetzt.

Über die Durchlässigkeit menschlicher Gewebe für Röntgenstrahlen hat G. Perthes schon 1904 grundlegende Untersuchungen angestellt, deren wesentliche Ergebnisse er in folgende Sätze zusammenfaßt:

1. Die Durchlässigkeit der Weichteile des menschlichen Körpers, mit Ausnahme von den Geweben, die spezifisch leichter sind als Wasser — Lunge und Fettgewebe — kommt der des Wassers außerordentlich nahe. Nur Lunge und Fettgewebe sind durchlässiger als Wasser, die übrigen Weichteile einander ziemlich gleich und sehr wenig undurchlässiger als Wasser.

2. Bei Bestrahlung des Körpers sinkt die Intensität der Röntgenstrahlen von der Körperoberfläche nach dem Körperinnern zu rasch ab. Bei Verwendung von mittelweichen Röhren ist in 1 cm Tiefe nur 50—60 %, in 2 cm Tiefe nur 35—45 %, in 3 cm Tiefe nur 20—30 % der ursprünglichen Intensität vorhanden.

3. Die Intensitätsabnahme erfolgt langsamer bei der Verwendung harter Röhren, aber auch in diesem Falle sinkt die Intensität im vierten Zentimeter unter 40%, im fünften unter 25% des ursprünglichen Wertes herab.

4. Die Intensitätsabnahme in der Tiefe erfolgt merklich langsamer, wenn auf die Körperoberfläche eine absorbierende Schicht — etwa 1 mm Aluminium — gelegt wird.

Wenn Röntgenstrahlen in einem Körper absorbiert werden, so geht ihre Energie natürlich nicht verloren, sondern sie wird in eine andere Form umgesetzt. Hierbei entstehen die sog. „Sekundärstrahlen", die aus drei Strahlenarten zusammengesetzt sind,

1. den zerstreuten Röntgenstrahlen (Streustrahlen),
2. den Fluoreszenz-Röntgenstrahlen (Eigenstrahlung) und
3. den Elektronen-Strahlen (Kathodenstrahlen).

Während die Streustrahlung von gleicher Art wie die sie erzeugende Primärstrahlung, also in bezug auf ihre Zusammensetzung unabhängig von dem absorbierenden Körper ist, hängt die Fluoreszenzstrahlung für eine bestimmte Primärstrahlung ausschließlich von der Art des absorbierenden Körpers ab. (Näheres hierüber s. S. 41.)

In seiner dritten Arbeit teilte Röntgen mit, daß ein Körper von bestimmter Dicke gleich durchlässig sei, wie viele einzelne Körper, die zusammen ebenso dick waren (z. B. eine Aluminiumplatte von 0,925 mm Dicke einerseits, und 31 übereinandergelegte Aluminiumblätter von je 0,0299 mm Dicke, die zusammen also 0,927 mm dick waren, anderseits), auch war keine merkliche Verschiedenheit der Helligkeit des Schirmes zu konstatieren, ob die Platte dicht vor dem Schirme sich befand oder in größerer Entfernung von ihm (natürlich blieb in beiden Fällen die Entfernung des Schirmes von der Röntgenröhre die gleiche). Eine weitere, sehr wichtige Beobachtung über die Durchlässigkeit von Körpern für Röntgenstrahlen, die zur Konstruktion eines wertvollen Instrumentes zur Messung der Härte von Röntgenstrahlen führte, teilt Röntgen gleichfalls in seiner dritten Arbeit mit. Mit Hilfe seines Photometers bestimmte er nämlich die Durchlässigkeit einer Aluminiumplatte von 1 mm Dicke auf Grund der S. 25 gegebenen Definition. Brachte er vor diese Platte eine zweite, gleich dicke Aluminiumplatte und maß nun die Durchlässigkeit der letzteren, so ergab sich, daß die zweite Platte für die in sie eindringenden Strahlen wesentlich durchlässiger war als die erste; z. B. war für eine bestimmte Röntgenröhre die Durchlässigkeit der ersten Aluminiumplatte 0,40, diejenige für die zweite 0,55. Aus einer größeren Zahl solcher Untersuchungen

für verschiedene Körper kommt Röntgen zu folgendem Resultat: *„Denkt man sich die untersuchten Körper in gleich dicke, zu den parallelen Strahlen senkrechte Schichten zerlegt, so ist jede dieser Schichten für die in sie eindringenden Strahlen durchlässiger als die vorhergehende; oder mit anderen Worten: die „spezifische" Durchlässigkeit eines Körpers ist um so größer, je dicker der betreffende Körper ist."*

Dieses Resultat („Röntgensches Absorptionsgesetz") ist, wie Röntgen bemerkt, in Einklang mit der Tatsache, *„daß sich mitunter auf photographischen Bildern der Schatten dünner Schichten, z. B. von dem zum Einwickeln der Platte verwendeten Papier, verhältnismäßig stark bemerkbar macht"*.

Das oben erwähnte Instrument zur Bestimmung des Härtegrades von Röntgenröhren nannte Röntgen „Platin-Aluminiumfenster" und beschrieb es wie folgt: *„Es besteht aus einem auf einem dünnen Papierschirm aufgeklebten, rechteckigen (4,0 × 6,5 cm) Stück Platinfolie von 0,0026 mm Dicke, das mittels eines Durchschlages mit 15 auf drei Reihen verteilten, runden Löchern von 0,7 cm Durchmesser versehen ist. Diese Fensterchen sind verdeckt mit genau passenden und sorgfältig übereinander geschichteten Scheibchen aus 0,0299 mm dicker Aluminiumfolie, und zwar so, daß in dem ersten Fensterchen ein, im zweiten zwei usw., schließlich im fünfzehnten fünfzehn Scheibchen liegen. Bringt man diese Vorrichtung vor den Fluoreszenzschirm, so erkennt man namentlich bei nicht zu harten Röhren sehr deutlich, wieviel Aluminiumblättchen gleich durchlässig sind wie die Platinfolie. Diese Anzahl soll kurz die Fensternummer genannt werden."*

Das Röntgensche Härtemeßinstrument beruht, wie spätere Untersuchungen ergeben haben, auf der „selektiven Absorption" der chemischen Elemente. Man versteht darunter die Eigenschaft der Elemente, die Röntgenstrahlen nicht durchwegs um so stärker zu absorbieren, je weicher letztere sind, d. h. je größer ihre Wellenlänge ist, sondern sie bei einer ganz bestimmten, für jedes Element charakteristischen Wellenlänge viel stärker zu absorbieren, als bei etwas größerer Wellenlänge. Dieses eigenartige Verhalten der Elemente bei bestimmten Härtegraden, härtere Röntgenstrahlen stärker zu absorbieren als weichere, hängt mit der Tatsache zusammen, daß durch die Strahlen ganz bestimmter Wellenlänge die Atome eines Elementes besonders stark angeregt werden und deshalb starke Eigenstrahlung aussenden. Es entspricht dies etwa einer Saite, die von Schallwellen nur dann in Schwingungen versetzt wird (und selbst Schallwellen aussendet), wenn die auftreffenden Wellen der Eigenschwingung der Saite entsprechen.

Fig. 13 (— der oben erwähnten Arbeit von Cermak entnommen —), in welcher als Abszisse die Wellenlänge der Röntgenstrahlen, als Or-

dinate der Absorptionskoeffizient pro Masseneinheit, der sogenannte „Massenabsorptionskoeffizient“ $\frac{\mu}{\varrho}$ (Absorptionskoeffizient „μ“ dividiert durch das spezifische Gewicht „ϱ“) eingetragen sind, zeigt deutlich die selektive Absorption für eine Anzahl von Elementen.

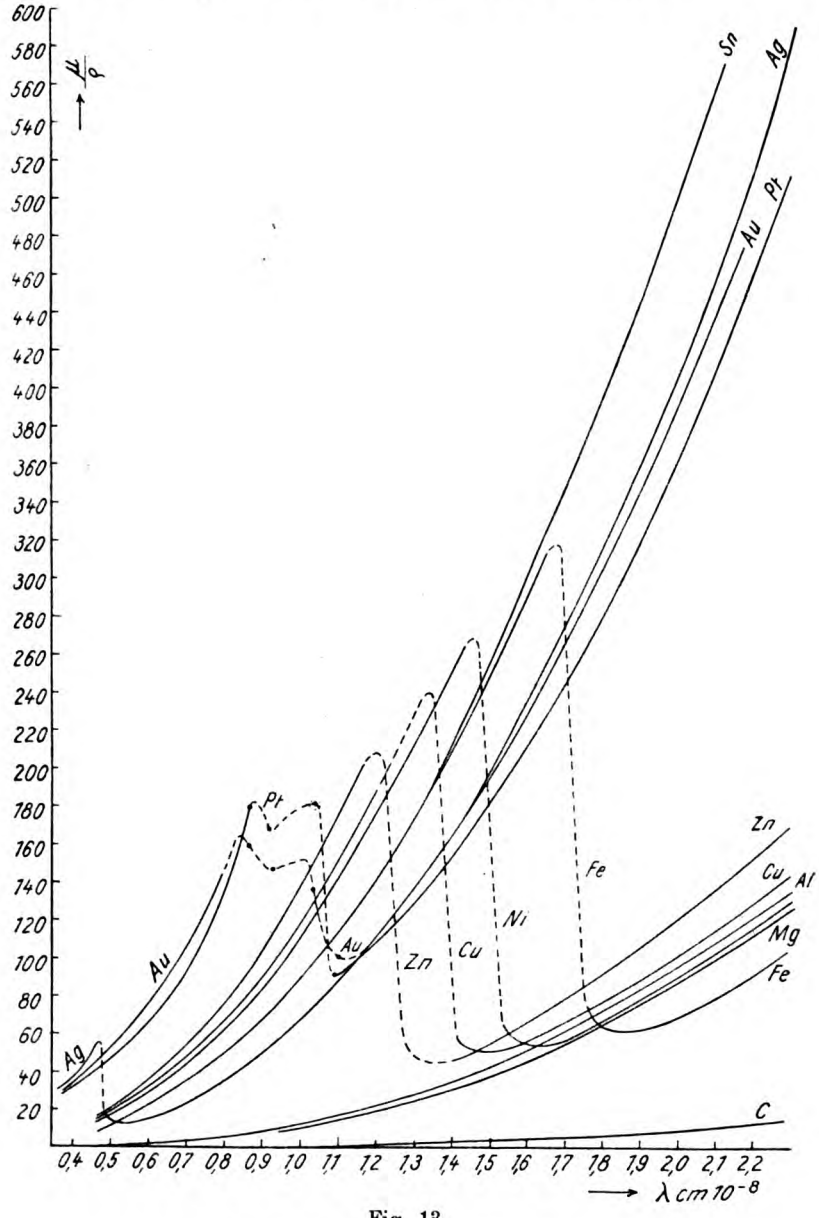


Fig. 13.
Selektive Absorption einiger Elemente.

Bei Aluminium — wie bei allen Elementen von kleinem Atomgewicht — ist die Wellenlänge der selektiven Absorption so groß, die Strahlen sind also so weich, daß sie schon von der Glaswand der Röntgenröhre absorbiert werden. Die selektive Absorption kommt daher bei Aluminium nicht in Frage, das heißt die Durchlässigkeit nimmt mit Zunahme der Wellenlänge stetig ab (siehe Fig. 13). Bei Platin dagegen liegt die Wellenlänge, bei welcher selektive Absorption auftritt, in dem Bezirk der in der Röntgendiagnostik verwendeten Strahlenhärten. Für diese Wellenlängen ist somit das Verhältnis der Absorption in Aluminium und Platin wesentlich von der Härte der Strahlung abhängig und deshalb läßt sich — natürlich nur innerhalb gewisser Grenzen — aus dem Verhältnis dieser Absorptionen auf die Härte der Strahlung schließen. Noch mehr als bei Platin ist bei Silber — das Benoist zuerst an Stelle des Platins zur Härtemessung verwendete — die selektive Absorption im Bezirk der in der Röntgendiagnostik verwendeten Wellenlängen gelegen, und daher wird jetzt Silber allgemein zu derartigen Härtemessern verwendet. Das von Benoist „Chromometer" genannte Instrument wurde dann von Wehnelt, Walter, Dessauer u. a. in seiner Ausführung verändert, aber alle diese Härtemesser sind nur Abänderungen des ursprünglich von Röntgen angegebenen.

Walter hat einen anderen Härtemesser konstruiert, der darauf beruht, daß in acht Ausschnitten eines dicken Bleibleches dünne Platinbleche verschiedener Stärke angeordnet sind. Je weicher die Strahlung, desto weniger Bleche werden durchstrahlt, und man erkennt auf einem Durchleuchtungsschirm nur eine geringe Zahl von Feldern und umgekehrt eine um so größere, je härter die Strahlung ist. Da dieses Verfahren weit subjektiver als das von Röntgen angegebene und von Benoist verbesserte ist, wird das letztere fast allgemein vorgezogen.

Von Christen wurde ein viel verwendeter Härtemesser angegeben, welcher, ebenso wie einige andere Vorrichtungen zur Härtemessung, im Kapitel „Röntgentechnik" Bd. II noch näher beschrieben wird. Hier sei nur erwähnt, daß das Christensche Instrument auf der sogenannten „Halbwertsschicht" beruht. Darunter versteht man die in cm ausgedrückte Dicke eines bestimmten Körpers (z. B. destillierten Wassers), welche nötig ist, um die Hälfte der zu untersuchenden Strahlung zu absorbieren. Es ist einleuchtend, daß diese Dicke um so größer ist, je härter die Strahlung. Statt Wasser in cm-Schichtdicke wird vielfach auch Aluminium in mm-Schichtdicke gewählt.

Die vorstehend erwähnten Härtemesser geben natürlich nur einen mehr oder weniger richtigen Mittelwert aus den verschiedenen Härten der in einem Röntgenstrahlenbündel enthaltenen verschiedenartigen

Röntgenstrahlen. Selbstverständlich können bei gleichen Mittelwerten der Härte vollständig verschiedenartig zusammengesetzte Strahlengemische vorliegen und damit auch ganz verschiedenartige Wirkungen erhalten werden. Dieser Tatsache ist lange Zeit viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden.

Durch die Röntgen-Spektroskopie, besonders durch die einfache Bestimmung der „Grenzwellenlänge", hat die Härtemessung einen wichtigen Fortschritt erfahren. (Siehe S. 8.)

Die Durchlässigkeit eines Körpers für Röntgenstrahlen hängt, wie wir sahen, wesentlich von den Eigenschaften des ersteren ab, aber auch in hohem Grade von der Art der letzteren.

Wie oben schon auseinandergesetzt, sind die Röntgenstrahlen in bezug auf Durchdringungsfähigkeit sehr verschieden, je nach der Geschwindigkeit der sie erzeugenden Kathodenstrahlen und je nach der Art des Körpers, auf welchen letztere auftreffen. So hat Röntgen schon die Durchlässigkeit einer 2 mm dicken Aluminiumplatte mit verschiedenen Röhren bestimmt und sie für eine Röhre = 0,0044, für eine andere = 0,59, also 134mal so groß gefunden.

„Alle Körper sind für Strahlen einer härteren Röhre durchlässiger als für Strahlen einer weicheren Röhre." Diese Bemerkung Röntgens, die uns heute fast selbstverständlich erscheint, war es durchaus nicht zur Zeit der Entdeckung der neuen Strahlen. Röntgen schreibt hierüber: *„Diese Tatsache scheint mir einer besonderen Beachtung wert zu sein"* und fährt dann fort: *„Auch das Verhältnis der Dicken von zwei gleich durchlässigen Platten verschiedener Körper stellt sich als abhängig von der Härte der benutzten Entladungsröhre heraus. Man erkennt das sofort mit dem Platin-Aluminiumfenster: mit einer sehr weichen Röhre findet man z. B. die Fensternummer 2 und für sehr harte, sonst gleiche Röhren reicht die bis Nr. 15 gehende Skala gar nicht aus. Das heißt also, daß das Verhältnis der Dicken von Platin und Aluminium gleicher Durchlässigkeit um so kleiner ist, je härter die Röhren sind, aus denen die Strahlen kommen, oder — mit Rücksicht auf das oben mitgeteilte Resultat — je weniger absorbierbar die Strahlen sind."*

Man ersieht aus Vorstehendem, wie vorzüglich es Röntgen verstanden hat, seine Beobachtungen experimentell auszubauen, wie er aus dem Verhalten von zwei gleich durchlässigen Platten verschiedener Körper gegenüber verschiedenartigen Röntgenstrahlen ein für die Röntgenologie wertvolles Instrument, den Härtemesser, konstruiert hat. Wir werden im Nachstehenden eine zweite wichtige Vor-

richtung — die parallele Funkenstrecke — kennen lernen, die gleichfalls Röntgen schon angewendet hat und welche — unter sonst gleichen Umständen — für die Beurteilung der Härte der Röntgenröhren, also der Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlen, ein sehr bequemes und praktisch sehr wichtiges Hilfsmittel ist.

Besonders erwähnenswert sind noch einige Bemerkungen Röntgens (aus seiner dritten Mitteilung 1897), die in klarer und prägnanter Weise verschiedene für die Röntgenologie sehr wichtige Tatsachen beschreiben, weshalb sie hier im Wortlaut wiedergegeben werden sollen.

„Es bleibt noch übrig mitzuteilen, daß die Qualität der von einer und derselben Röhre gelieferten Strahlen von verschiedenen Umständen abhängig ist. Wie die Untersuchung mit dem Platin-Aluminiumfenster lehrt, wird dieselbe beeinflußt: 1. Von der Art und Weise, wie der Deprez- oder Foucaultunterbrecher am Induktionsapparat wirkt, d. h. von dem Verlauf des primären Stromes. Hierher gehört die häufig zu beobachtende Erscheinung, daß einzelne von den rasch aufeinander folgenden Entladungen X-Strahlen erzeugen, die nicht nur besonders intensiv sind, sondern sich auch durch ihre Absorbierbarkeit von den anderen unterscheiden. 2. Durch eine Funkenstrecke, welche in den sekundären Kreis vor den Entladungsapparat eingeschaltet wird. 3. Durch Einschaltung eines Teslatransformators. 4. Durch den Grad der Verdünnung des Entladungsapparates (wie schon erwähnt). 5. Durch verschiedene noch nicht genügend erkannte Vorgänge im Innern der Entladungsröhre. Einzelne dieser Faktoren verdienen eine etwas mehr eingehende Besprechung.

Nehmen wir eine noch nicht gebrauchte und nicht evakuierte Röhre und setzen dieselbe an die Quecksilberpumpe an, so werden wir nach dem nötigen Pumpen und Erwärmen der Röhre einen Verdünnungsgrad erreichen, bei welchem die ersten X-Strahlen sich durch schwaches Leuchten des nahen Fluoreszenzschirmes bemerkbar machen. Eine parallel zur Röhre geschaltete Funkenstrecke liefert Funken von wenigen Millimetern Länge, das Platin-Aluminiumfenster zeigt sehr niedrige Nummern, die Strahlen sind sehr absorbierbar. Die Röhre ist „sehr weich". Wenn nun eine Funkenstrecke vorgeschaltet, oder ein Teslatransformator eingeschaltet wird, so entstehen intensivere und weniger absorbierbare Strahlen. So fand ich z. B in einem Fall, daß durch Vergrößerung der vorgeschalteten Funkenstrecke die Fensternummer allmählich von 2,5 auf 10 heraufgebracht werden konnte.

(Diese Beobachtungen führten mich zu der Frage, ob nicht auch bei noch höheren Drucken durch Anwendung eines Teslatransformators X-Strahlen zu erhalten sind. Dies ist in der Tat der Fall: mit einer engen Röhre mit drahtförmigen Elektroden konnte ich noch X-Strahlen erhalten, wenn der Druck der eingeschlossenen Luft 3,1 mm Quecksilber betrug. Wurde

statt Luft Wasserstoff genommen, so durfte der Druck noch größer sein. Den geringsten Druck, bei welchem in Luft noch X-Strahlen erzeugt werden können, konnte ich nicht feststellen; derselbe liegt aber jedenfalls unter 0,0002 mm Quecksilber, so daß das Druckgebiet, innerhalb dessen überhaupt X-Strahlen entstehen können, schon jetzt ein sehr großes ist.)

Weiteres Evakuieren der „sehr weichen" — direkt mit dem Induktorium verbundenen — Röhre hat zur Folge, daß die Strahlung intensiver wird, und daß ein größerer Bruchteil derselben durch die bestrahlten Körper hindurch geht; eine vor den Fluoreszenzschirm gehaltene Hand ist durchlässiger als vorher, und es ergeben sich am Platin-Aluminiumfenster höhere Fensternummern. Gleichzeitig mußte die parallel geschaltete Funkenstrecke vergrößert werden, um die Entladung durch die Röhre gehen zu lassen: die Röhre ist „härter" geworden. — Pumpt man die Röhre noch mehr aus, so wird sie so „hart", daß die Funkenstrecke über 20 cm lang gemacht werden muß, und nun sendet die Röhre Strahlen aus, für welche die Körper ungemein durchlässig sind: 4 cm dicke Eisenplatten, mit dem Fluoreszenzschirm untersucht, erwiesen sich noch als durchlässig." ...

„Das Hartwerden einer Röhre dachten wir uns durch fortgesetztes Evakuieren mit der Pumpe erzeugt; dasselbe kann auch in anderer Weise geschehen. So wird eine von der Pumpe abgeschmolzene mittelharte Röhre auch von selbst — mit Rücksicht auf die Dauer ihrer Verwendbarkeit leider — fortwährend härter, wenn sie in richtiger Weise zum Erzeugen von X-Strahlen verwendet wird, das heißt, wenn Entladungen, die das Platin nicht, oder nur schwach zum Glühen bringen, durchgeschickt werden. Es findet eine allmähliche Selbstevakuierung statt.

Mit einer solchen sehr hart gewordenen Röhre habe ich von dem Doppellauf eines Jagdgewehres mit eingesteckten Patronen ein sehr schönes photographisches Schattenbild erhalten, in welchem alle Details der Patronen, die inneren Fehler der Damastläufe usw. sehr deutlich und scharf erkennbar sind. . . ."

„Die Zusammensetzung der von einer mit Platinanode versehenen Entladungsröhre ausgesandten Strahlen ist wesentlich bedingt durch den zeitlichen Verlauf des Entladungsstromes. Der Verdünnungsgrad, die Härte, spielt nur deshalb eine Rolle, weil davon die Form der Entladung abhängig ist. Wenn man die für das Zustandekommen der X-Strahlen nötige Entladungsform in irgendeiner Weise herzustellen vermag, so können auch X-Strahlen erhalten werden, selbst bei relativ hohen Drucken."

Diese Bemerkungen Röntgens sind von größter Wichtigkeit für die Röntgenologie. Unabhängig von ihnen und zwar von technischen Gesichtspunkten geleitet, bin ich im Jahre 1907 auf diesen „zeitlichen Verlauf des Entladungsstromes" — ich nannte ihn die „Kurvenform des Sekundärstromes" — gelenkt worden. („Über

die Bedeutung der Kurvenform des Sekundärstromes für die praktische Röntgenologie." Verhandl. d. deutsch. Röntgen-Ges. IV., 1908, S. 67ff., und „Über einen neuen Röntgenapparat und einige mit diesem erzielte Resultate". Münch. Med. Wochenschr. 1907, Nr. 42.) Da im Kapitel „Röntgentechnik" (II. Band) diese interessanten und wichtigen Verhältnisse noch näher zu besprechen sind, möchte ich hier nur auf die erwähnten Arbeiten verweisen und will von den erhaltenen Resultaten nur das eine anführen: Im Interesse einerseits möglichster Schärfe der Röntgenbilder und anderseits möglichster Schonung der Röntgenröhren ist es wünschenswert, Hochspannungsströme durch die Röntgenröhre zu leiten, deren zeitlicher Verlauf durch Kurven von geringer Breite und großer Höhe dargestellt wird, zwischen welchen größere Zwischenräume, also stromlose Intervalle, liegen.

Noch wichtiger wie die Stromkurve des Sekundärstroms dürfte dessen Spannungskurve sein; denn, wie schon oben ausgeführt, hängt die Qualität der Röntgenstrahlen in erster Linie von der Geschwindigkeit der Elektronen und diese von der elektrischen Spannungsdifferenz ab. Die Spannungskurve gibt uns aber alle Momentanwerte der letzteren. Im allgemeinen ist die Spannungskurve so beschaffen, daß die einzelnen Momentanwerte verschieden sind, und damit sind es natürlich auch die Röntgenstrahlen, welche durch die verschiedenen Spannungen erzeugt werden. Daraus folgt, daß durch jeden einzelnen Stromimpuls in der Röntgenröhre die verschiedenartigsten Röntgenstrahlen entstehen.

Aber auch bei konstanter Spannung würden Röntgenstrahlen verschiedener Härte auftreten, da die Elektronen die Atome in verschiedenartiger Weise (mehr oder weniger zentral) treffen, und deshalb verschieden schnell gebremst werden. Von der Schnelligkeit der Bremsung hängt aber die Härte des erzeugten Röntgenstrahls ab. Daher muß die Bremsröntgenstrahlung, wie wir bereits sahen, stets ein kontinuierliches Spektrum besitzen.

Aus der Spannungskurve könnten wir gewisse Aufschlüsse über die Zusammensetzung des Röntgenstrahlengemisches, das eine Röntgenröhre unter bestimmten Verhältnissen gibt, erhalten. Leider ist bis jetzt ihre genaue Bestimmung nur in ziemlich umständlicher Weise und auch dann nur unter gewissen Bedingungen möglich. Auf meine Anregung wurde im Institut für angewandte Elektrizität der Universität Göttingen die Spannungskurve an Röntgenröhren durch A. Wertheimer untersucht. Auch auf diese interessante Arbeit kann ich hier nur hinweisen. Wie schon erwähnt, hängt die Zusammensetzung eines Röntgenstrahlenbündels außer von der Geschwindigkeit der Elektronen auch noch von der Art des Körpers, auf welchen letztere auftreffen, ab, und

natürlich auch von der Art und Dicke der Körper, welche von den Röntgenstrahlen nach ihrer Entstehung durchsetzt worden sind, also z. B. der Glaswand der Röhre. Die Spannungskurve gibt uns deshalb nur Anhaltspunkte über die Zusammensetzung des Röntgenstrahlenbündels, wenn alle übrigen Verhältnisse die gleichen sind, also insbesondere wenn sowohl die Antikathode als die von den Röntgenstrahlen durchsetzten Körper die gleichen sind.

Von praktischem Interesse sind noch folgende Bemerkungen Röntgens:

„Das Verhältnis der Dicken von zwei gleich durchlässigen Platten aus verschiedenem Material ist abhängig von der Dicke und dem Material desjenigen Körpers — z. B. der Glaswand des Entladungsapparates —, den die Strahlen zu durchlaufen haben, bevor sie die betreffenden Platten erreichen."

Röntgen hat also schon erkannt, daß die Filtration der Röntgenstrahlen durch die Glaswand einen wesentlichen Einfluß auf die Zusammensetzung, d. h. die Qualität der ersteren haben kann.

Ferner: *„Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Wahl der zu benutzenden Röhre sich nach der Beschaffenheit des abzubildenden Gegenstandes richten muß"*. Dieser für die Röntgendiagnostik wichtige Grundsatz ist von manchem Röntgenologen nicht genügend beachtet worden.

Die Untersuchung der Absorptionsverhältnisse in einem Körper wird dadurch noch außerordentlich kompliziert, daß, wie schon ausgeführt, jedes materielle Teilchen, das von Röntgenstrahlen getroffen wird, selbst wieder solche aussendet (Sekundärstrahlung, s. S. 28 u. 41). Letztere beeinflußt — neben der durch die Absorption selbst hervorgerufenen Veränderung des Strahlengemisches — die Zusammensetzung des hindurchgelassenen Strahlenbündels unter Umständen recht beträchtlich.

Ich möchte diesen die Absorbierbarkeit der Röntgenstrahlen behandelnden Teil nicht schließen, ohne noch besonders hervorzuheben, in welch vorzüglicher Weise Röntgen bereits in seinen drei ersten Arbeiten über die X-Strahlen die Absorptionsverhältnisse studiert und beschrieben hat. Jeder Röntgenologe sollte diese klassischen Arbeiten, nicht nur wegen ihrer für die Medizin so außerordentlich wichtigen, praktischen Bedeutung, sondern auch wegen ihrer hervorragenden Eigenschaften in experimenteller Beziehung eingehend studieren.

Da die zwei ersten Arbeiten Röntgens in den Sitzungsberichten der Würzburger physikalisch-medizinischen Gesellschaft vom Jahre 1895, die dritte in den Sitzungsberichten der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1897 erschienen, also nicht überall leicht zugänglich sind, soll noch erwähnt werden, daß die drei Arbeiten in Bd. 64, Heft 1 der Annalen der Physik und Chemie 1898 (Verlag J. A. Barth, Leipzig) abgedruckt sind und auch als Sonderabdruck von der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft in Würzburg (Verlag C. Kabitzsch, Würzburg 1915) herausgegeben wurden.

Die Netzhaut unseres Auges ist für Röntgenstrahlen direkt nicht oder nur außerordentlich wenig empfindlich; wir können sie also nicht sehen, und es würden uns daher auch ihre Absorptionsverhältnisse und damit natürlich auch deren Anwendungsmöglichkeiten nicht bekannt sein, wenn die Röntgenstrahlen nicht noch Eigenschaften besäßen, die sie für unsere Sinne erkennbar machen; es sind dies die folgenden:

1. Sie bringen gewisse Körper, auf welche sie auftreffen, zur Lumineszenz, d. h. diese Körper strahlen unter dem Einfluß der Röntgenstrahlen Licht aus.
2. Sie rufen chemische Veränderungen gewisser Körper hervor.
3. Sie ionisieren Gase und bewirken dadurch die Entladung von elektrisch geladenen Körpern, wenn sie von Röntgenstrahlen getroffen werden, und
4. Sie verändern die elektrische Leitfähigkeit gewisser Körper, z. B. von Selen.

Die unter 1 genannte Lumineszenz ist:
entweder eine sehr kurz dauernde, d. h. das Leuchten verschwindet sofort nach Aufhören der Bestrahlung; man nennt sie dann Fluoreszenz; eine solche tritt z. B. bei dem aus „Bariumplatinzyanür" bestehenden Durchleuchtungsschirm auf, (welcher gelbe Farbe besitzt und gelbgrün leuchtet), oder sie ist eine länger dauernde, d. h. sie verschwindet nicht sofort nach Aufhören der Röntgenbestrahlung, sondern erst nach kürzerer oder längerer Zeit; sie heißt dann Phosphoreszenz. Letztere ist in den bekannten, weißen, aber blau leuchtenden Verstärkungsschirmen vorhanden, deren — unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen — leuchtende Substanz „wolframsaures Kalzium" ist. Auch die als Durchleuchtungsschirme verwendeten Astral- und Ossal-Schirme, die unter der Einwirkung der Röntgenstrahlen, ebenso wie

der Bariumplatinzyanür-Schirm, gelbgrün leuchten und im wesentlichen aus kieselsaurem Zink bestehen, gehören zu den phosphoreszierenden Körpern, desgleichen „Schwefelzink" (blau leuchtend) und andere Zinkverbindungen.

Auf der unter 2 angeführten Eigenschaft der Röntgenstrahlen, Veränderungen chemischer Natur hervorzurufen, beruhen zwei der wichtigsten Anwendungen in der Röntgenologie: Die Röntgenographie (Röntgenphotographie) und die Röntgentherapie.

Die Röntgenographie wird dadurch ermöglicht, daß die Röntgenstrahlen in ähnlicher, wenn auch durchaus nicht in gleicher Weise wie die Lichtstrahlen die photographische Platte schwärzen. So können z. B. zwei Platten, von welchen die eine für Lichtstrahlen wesentlich empfindlicher ist als die andere, für Röntgenstrahlen gleich empfindlich sein.

Die Röntgentherapie dagegen beruht darauf, daß die lebende Zelle von den Röntgenstrahlen verändert, eventuell getötet wird, ähnlich wie von den Lichtstrahlen; während letztere jedoch nur an oder in der Nähe der Oberfläche der Körper wirken, beeinflussen jene auch tiefer gelegene Zellen.

Sowohl die Röntgenographie als die Röntgentherapie werden in besonderen Kapiteln noch besprochen, weshalb an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden soll. Nur auf eine in Röntgens dritter Arbeit schon erwähnte Tatsache bezüglich der Beeinflussung photographischer Platten und der Durchleuchtungsschirme soll hier schon kurz hingewiesen werden, nämlich daß die Schwärzung der Platte und die Fluoreszenzerregung nicht miteinander parallel gehen. Röntgen schreibt u. a. hierüber:

„Stellt man an dem beschriebenen Photometer eine harte und eine weiche Röhre auf gleiche Helligkeit des Fluoreszenzschirmes ein und bringt dann eine photographische Platte an die Stelle des Schirmes, so bemerkt man nach dem Entwickeln dieser Platte, daß die von der harten Röhre bestrahlte Plattenhälfte beträchtlich weniger geschwärzt ist als die andere. Die Bestrahlungen, die gleiche Intensität der Fluoreszenz erzeugten, wirkten photographisch verschieden.

Bei der Beurteilung dieses Resultates darf man nicht außer Betracht lassen, daß weder der Fluoreszenzschirm noch die photographische Platte die auffallenden Strahlen vollständig ausnutzen; beide lassen noch viele Strahlen hindurch, die wieder Fluoreszenz bzw. photographische Wirkungen hervorrufen können. Das mitgeteilte Resultat gilt demnach zunächst nur für die gebräuchliche Dicke der empfindlichen photographischen Schicht und des Bariumplatinzyanürbelages.

Wie sehr durchlässig die empfindliche Schicht der photographischen Platte sogar für X-Strahlen von Röhren mittlerer Härte ist, beweist ein Versuch mit 96 aufeinander gelegten, in 25 cm Entfernung von der Strahlenquelle 5 Minuten lang exponierten und durch eine Bleiumhüllung gegen die Strahlung der Luft geschützten Films. Noch auf dem letzten derselben ist eine photographische Wirkung deutlich zu erkennen, während der erste kaum überexponiert ist. Durch diese und ähnliche Beobachtungen veranlaßt, habe ich bei einigen Firmen für photographische Platten angefragt, ob es nicht möglich wäre, Platten herzustellen, die für die Photographie mit X-Strahlen geeigneter wären, als die gewöhnlichen. Die eingesandten Proben waren jedoch nicht brauchbar.“

Was die letzterwähnte Bemerkung Röntgens betrifft, die vor mehr als 27 Jahren publiziert wurde, so ist auch heute leider fast noch kein Fortschritt nach dieser Richtung aufzuweisen. Während auf nahezu allen anderen Gebieten der Röntgenologie die technische Entwicklung außerordentlich schnell vorwärts schritt, ist diejenige der photographischen Röntgenplatte, die meiner Ansicht nach bedeutend verbesserungsfähig ist, fast vollkommen stehen geblieben. Hier dürften die Chemiker ein dankbares Arbeitsfeld finden.

Auch die chemische Veränderung verschiedener anderer Körper durch Röntgenstrahlen ist hier noch zu erwähnen. So nimmt, wie an länger gebrauchten Röntgenröhren oder auch an den aus Bleiglas bestehenden Schutzgehäusen für Röntgenröhren leicht erkennbar ist, farbloses Glas durch die Strahlung eine violette Farbe an. Bei den Röntgenröhren spielen hierbei allerdings auch die von der Antikathode ausgehenden Kathodenstrahlen (s. S. 19) eine gewisse Rolle, bei den Schutzgehäusen dagegen nur die Röntgenstrahlen bzw. die von diesen erzeugten sekundären Kathodenstrahlen. Die Violettfärbung des für Röntgenröhren verwendeten Glases hat ihren Grund in einer Veränderung der Manganverbindungen, die in diesen Gläsern enthalten sind. Nur nebenbei sei bemerkt, daß es durchaus nicht schwierig ist, Röntgenröhren herzustellen, deren Glas sich nicht oder nur wenig färbt.

Ferner verändert sich durch Röntgenstrahlen das Bariumplatinzyanür, aus dem der oben erwähnte Durchleuchtungsschirm besteht; es nimmt eine mehr oder weniger starke Braunfärbung an, die einerseits die Leuchtkraft des Schirmes bedeutend verringert, also sehr nachteilig ist, anderseits aber als Dosierungsmittel in der Röntgentherapie (Sabouraud- und Noiré-Plättchen) eine große Rolle spielt. In ähnlicher Weise hat Freund die chemische Veränderung von Jodkaliumstärke, Kienböck die von photographischem Papier und Schwarz diejenige von Kalomel als Dosierungsmittel benützt.

Die unter 3 erwähnte Eigenschaft der Röntgenstrahlen, daß sie elektrisch geladene Körper entladen, ist von Röntgen in seiner zweiten Arbeit ausführlich beschrieben. Diese Eigenschaft der Röntgenstrahlen ebenso wie die unter 4 angeführte, die elektrische Leitfähigkeit von Selen zu verändern, werden zur Bestimmung der Qualität und Intensität der Röntgenstrahlen benützt. (Näheres hierüber im Kapitel „Röntgentechnik".)

Von weiteren Eigenschaften der Röntgenstrahlen seien hier noch folgende erwähnt:

Sie werden im Gegensatz zu den Kathodenstrahlen weder durch magnetische noch durch elektrische Kräfte abgelenkt, verhalten sich nach dieser Richtung also wie das Licht.

Auch Polarisation tritt, wie Barkla zuerst fand, bei den Röntgenstrahlen auf (wenigstens bei der Bremsstrahlung und der zerstreuten Strahlung). Da sie jedoch bis jetzt für die praktische Röntgenologie keine Bedeutung besitzt, soll sie hier nicht näher besprochen werden.

Von dem gewöhnlichen Licht unterscheiden sich die Röntgenstrahlen, abgesehen von der verschiedenartigen Absorbierbarkeit, auch noch dadurch, daß sie nicht reflektierbar und brechbar sind. Aus diesem Grunde können sie weder durch Spiegel noch durch Linsen gesammelt werden. Die Bilder, welche mit Röntgenstrahlen hergestellt werden sollen, müssen deshalb in anderer Weise als die mittels Lichtstrahlen erhaltenen erzeugt werden.

Hierzu befähigt uns eine weitere, praktisch sehr wichtige Eigenschaft, welche die Röntgenstrahlen wieder mit dem Licht gemeinsam haben: Von der Stelle, an welcher sie erzeugt werden, gehen die Röntgenstrahlen geradlinig nach allen Richtungen aus. Nach verschiedenen Richtungen ist die Intensität etwas, aber nicht wesentlich verschieden. Da die Glaskugeln der Röntgenröhren im allgemeinen in der Nähe des Kathodenhalses und ebenso auf der dem letzteren gegenüberliegenden Seite größere Wandstärke besitzen, ist dort die Röntgenstrahlung stärker filtriert, also auch mehr geschwächt als an den anderen Stellen der Glaswand.

Auf Grund der geradlinigen Ausbreitung der Röntgenstrahlen können wir mit diesen Schattenbilder erzeugen, analog den Lichtschattenbildern, welche mittels einer Lichtquelle von sehr kleiner Dimension hervorgerufen werden.

Da solche Schattenbilder Zentralprojektionen darstellen, so kommen auch für die Röntgenbilder die Gesetze dieser in Anwendung, was auch schon von Röntgen beschrieben wurde. Hier seien nur zwei derselben hervorgehoben:

1. Je nach Entfernung des Fokus einerseits von der photographischen Platte (oder dem Durchleuchtungsschirm) und anderseits von dem darzustellenden Gegenstand wird der letztere mehr oder weniger vergrößert dargestellt (siehe S. 47). Umgekehrt kann man auch aus der Vergrößerung auf die Entfernung der Körper von der Platte schließen.

2. Die Intensität der Röntgenstrahlen nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab; die Strahlenwirkung auf die Flächeneinheit ist also z. B. bei doppelter Entfernung nur noch $^1/_4$, bei dreifacher nur noch $^1/_9$ usw.

Eine praktisch sehr wichtige Eigenschaft soll hier noch etwas eingehender besprochen werden, und zwar die, daß jedes materielle Teilchen, das von Röntgenstrahlen getroffen wird, selbst wieder Röntgenstrahlen aussendet, nämlich die bereits erwähnten sekundären Röntgenstrahlen.

Auch diese Tatsache hat Röntgen schon in seiner dritten Arbeit beschrieben. Er konstatierte die Sekundärstrahlung zunächst an der Luft, die, *„während sie bestrahlt wird, nach allen Richtungen X-Strahlen aussendet“. „Würde unser Auge für die X-Strahlen ebenso empfindlich sein wie für Lichtstrahlen, so würde ein in Tätigkeit gesetzter Entladungsapparat uns erscheinen, ähnlich wie ein in einem mit Tabakrauch gleichmäßig gefüllten Zimmer brennendes Licht; vielleicht wäre die Farbe der direkten und der von den Luftteilchen kommenden Strahlen verschieden. Die Frage, ob die von den bestrahlten Körpern ausgehenden Strahlen derselben Art sind wie die auffallenden, oder mit anderen Worten, ob eine diffuse Reflexion oder ein der Fluoreszenz ähnlicher Vorgang die Ursache dieser Strahlen ist, habe ich noch nicht entscheiden können.“* . . .

Auch daß die sekundären Röntgenstrahlen photographisch wirksam sind, und daß man sich gegen die sich *„für den Beobachter in unerwünschter Weise bemerkbar machenden Sekundärstrahlen dadurch schützen kann, daß man die photographische Platte durch geeignete Bleihüllen abschließt“* hat Röntgen bereits beschrieben.

Natürlich werden auch dort, wo sekundäre Röntgenstrahlen auftreffen, tertiäre Strahlen erzeugt usw.

Verschiedene Physiker haben sich mit der weiteren Erforschung der Eigenschaften der Sekundärstrahlen eingehend beschäftigt, ganz besonders Barkla und seine Mitarbeiter, ferner W. H. und W. L. Bragg, Moseley u. a. Sie gelangten zu sehr interessanten Resultaten. So ergab sich u. a., daß die beiden von Röntgen erwähnten Erklärungsmöglichkeiten, „die diffuse Reflexion“ und „ein der Fluoreszenz ähnlicher Vorgang“, zutreffend sind, daß also

gleichzeitig zwei Arten von sekundären Röntgenstrahlen auftreten. Die eine ist die zerstreute Strahlung oder „Streustrahlung", welche so genannt wird, weil sie dem zerstreuten Licht entspricht, das beispielsweise von einem Rauchteilchen in einer Rauchatmosphäre ausgeht. Die zerstreute Strahlung unterscheidet sich in ihrer Art nicht von der primären Strahlung, die sie erzeugt hat, sie hat die gleiche Durchdringungsfähigkeit wie diese. Wie oben schon erwähnt, besteht die in der Röntgenröhre erzeugte Primärstrahlung aus sehr verschiedenen Röntgenstrahlen, sie ist nicht homogen; gleiches gilt von der zerstreuten Strahlung, und zwar ist ihre Zusammensetzung gleich derjenigen der Primärstrahlung, d. h. das Verhältnis der verschiedenartigen Strahlen eines Streustrahlenbündels ist mit demjenigen der Primärstrahlung übereinstimmend.

Die zweite Art der sekundären Röntgenstrahlung wird die „fluoreszierende" genannt. Sie unterscheidet sich sehr wesentlich von der „zerstreuten". Ihre Bezeichnung rührt daher, daß ihre Entstehung analog der des Fluoreszenzlichtes ist; sie wird aus den primären Röntgenstrahlen, welche auf den Körper auftreffen, erzeugt, indem letzterer eine Umwandlung (Transformation) der Strahlung verursacht. Sie hat die gleichen Eigenschaften wie die durch Kathodenstrahlen an der Antikathode erzeugte Fluoreszenz-Röntgenstrahlung (siehe S. 13), und besitzt wie diese ein Linienspektrum.

Die fluoreszierende Sekundärstrahlung ist immer weniger durchdringungsfähig als die Primärstrahlung (Stokessches Gesetz); sie kann deshalb nicht von einer Primärstrahlung erzeugt werden, welche geringere Durchdringungsfähigkeit besitzt als die Strahlung, welche dem betreffenden Auftreffkörper eigen ist. Hierauf beruht eine von R. Glocker angegebene Methode zur Bestimmung der Härte der in einem Strahlengemisch enthaltenen Röntgenstrahlen. Über diesen von Glocker „Strahlenanalysator" genannten Apparat wird im Kapitel „Röntgentechnik" noch berichtet.

In der praktischen Röntgenologie spielt sowohl die zerstreute als auch die fluoreszierende Sekundärstrahlung eine große Rolle. Sie wird hervorgerufen

1. durch die Glaswand der Röntgenröhre (Glasstrahlung),
2. durch den zu untersuchenden Körper selbst, und
3. durch die Umgebung des letzteren.

Um scharfe Röntgenogramme zu erhalten, ist natürlich die Sekundärstrahlung nach Möglichkeit zu vermeiden oder unschädlich zu machen. Die Mittel, die zu diesem Zwecke benützt werden, sollen im Kapitel „Röntgentechnik" besprochen werden. Desgleichen wird dort, ebenso wie in den therapeutischen Kapiteln, noch auf verschie-

dene andere physikalisch-technische Gesichtspunkte einzugehen sein; hier sollen nur noch einige Betrachtungen angestellt werden, welche die Erzeugung und Beurteilung von Röntgenbildern betreffen.

Vielfach wurde und wird auch heute noch angenommen, daß Röntgenbilder einfache Schattenbilder, Silhouetten seien, in ihrer Art gleich denjenigen, welche eine Lichtquelle von einem undurchsichtigen Körper entwirft (z. B. Holz) oder von einem halbdurchsichtigen (z. B. graues Glas). Es gibt wohl Röntgenbilder, welche sowohl den erstgenannten als den zweiterwähnten Lichtschattenbildern gleichen, allein viele für die Röntgenologie wichtige sind doch wesentlich von diesen Silhouetten verschieden.

Ganz besonders war es der verstorbene ungarische Röntgenologe B. Alexander, der sich in einer großen Zahl mühevoller Arbeiten, die von sehr guter Beobachtungsgabe zeugen, damit beschäftigt hat, nachzuweisen, daß das Röntgenstrahlenbild durchaus kein einfaches Schattenbild ist, ja daß es unter Umständen ein vollständig plastisches Oberflächenbild darstellt. Diese natürliche Plastik der Röntgenbilder ist nicht zu verwechseln mit der im Jahre 1906 zuerst von B. Alexander angegebenen künstlich erzeugten Plastik von Röntgenbildern, die durch geeignete Übereinanderlegung von Originalbild und Kopie erhalten wird. Näheres hierüber im Kapitel „Röntgentechnik".

Tafel II u. III zeigen einige der ersterwähnten, natürlich plastischen Röntgenbilder, die Alexander hergestellt und mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat.

Wenn man das Röntgenbild des Maiglöckchens mit Blatt (Tafelbild Nr. 3) einerseits und anderseits dasjenige des Metallringes mit Metalldraht (Tafelbild Nr. 4) oder des Metallspanes (Tafelbild Nr. 5) betrachtet, so wird der nicht Eingeweihte diese nicht für Röntgenbilder, sondern für Lichtbilder halten. Ganz besonders schön zeigen sich manche Details, wenn man die Originalplatten der Röntgenbilder — wie dies Alexander besonders empfiehlt — mit der Lupe betrachtet, und zwar so, daß die Glasseite der Platte dem Auge zugewendet ist. Von einem silhouettenartigen Schattenbild kann bei diesen Röntgenogrammen jedenfalls keine Rede sein. Nicht weniger plastisch wirken die Röntgenbilder des aufgerollten Drahtnetzes (Tafelbild Nr. 6 auf Tafel II in $^1/_2$ natürlicher Größe) — das nicht nur die zylindrische Gestalt ganz vorzüglich zeigt, sondern auch sehr schön die durch die Kreuzung der Drahtgitter hervorgerufene moiréartige Zeichnung — und das Ringbild (Tafelbild

Nr. 7), das in Bild Nr. 8 vergrößert (von Alexander unter Verwendung der Lupe nach der Platte gezeichnet) dargestellt ist.

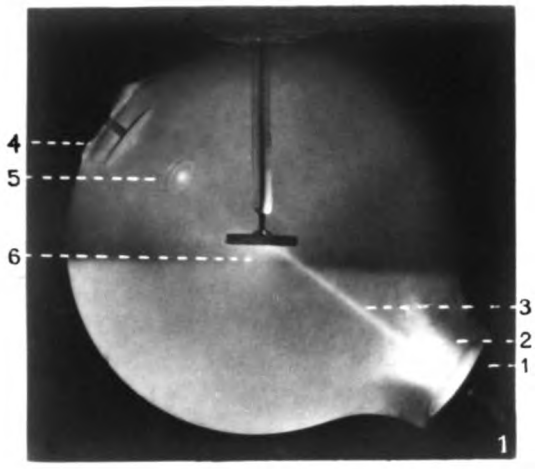
Auch bei manchen Röntgenbildern des menschlichen oder tierischen Körpers finden wir — wenn auch durchaus nicht immer — sehr schöne plastische Darstellung. So zeigt Tafelbild Nr. 1, Tafel III das Röntgenbild eines Schädelskeletts (in $^1/_2$ natürlicher Größe), eines Körpers, der bezüglich seiner Durchlässigkeit zwischen den metallischen, also nahezu undurchlässigen und den außerordentlich leicht durchlässigen Körpern (Pflanze) liegt. Auch hier ist die Plastik hervorragend schön; insbesondere erkennt man aus dem Vergleich der beiden Abbildungen Nr. 1 und Nr. 2 von Tafel III in bezug auf die plastische Wirkung den Unterschied zwischen dem „Originalbild" und der „Kopie".

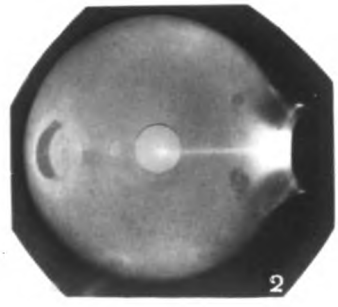
Man hat bisher in Anlehnung an die Lichtbilder das Originalbild als das Negativ und die Kopie als das Positiv bezeichnet. Alexander weist nun mit Recht darauf hin, daß diese Bezeichnung für die Röntgenbilder unzutreffend ist, da, wie aus den beiden Bildern Nr. 1 und Nr. 2 von Tafel III ersichtlich, das Originalbild (1) allein die schöne plastische Wirkung gibt. Wenn ich mich auch nicht seinem Vorschlag, die einmal von den Lichtbildern übernommenen Ausdrücke „Positiv" und „Negativ" zu vertauschen, anschließen kann, so möchte ich doch befürworten, daß in der Röntgenologie diese Ausdrücke überhaupt nicht gebraucht werden, sondern an ihrer Stelle die Ausdrücke „Originalbild" und „Kopie".

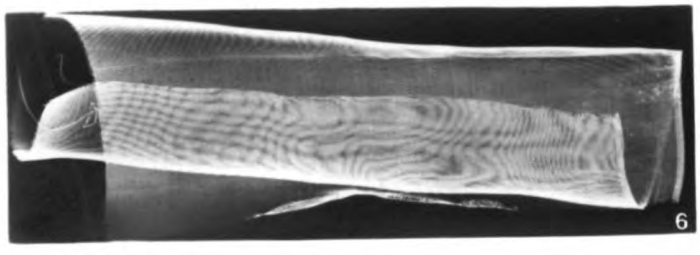
Wenn man in den reproduzierten Bildern die Verteilung der Lichter und Schatten genauer betrachtet, so überrascht die außerordentliche Ähnlichkeit der Schattierung mit jener von Körperoberflächen, wie wir sie bei gewöhnlichem Licht zu sehen gewohnt sind.

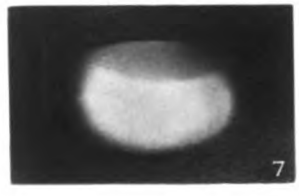
Eines der interessantesten der Alexanderschen plastischen Röntgenbilder dürfte das sein, welches er in einer Publikation der ungarischen Akademie der Wissenschaften zu Budapest beschrieben hat; dasselbe ist in Tafelbild Nr. 9 (Tafel II) nach einer Originalzeichnung Alexanders dargestellt.

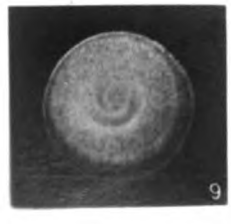
Es ist das Röntgenbild einer Bleikugel, deren Durchmesser 5 mm beträgt, und zwar in vierfacher Vergrößerung. Man erkennt eine Anzahl konzentrischer Kreisabschnitte, die verschieden breit sind und verschieden starke Tonungen aufweisen. Die Herstellung dieses Bildes geschah in folgender Weise: Expositionszeit: 25 Minuten — Entfernung der Glaswand der Röhre von der photographischen Platte: 22 cm — die Härte der Strahlen war derart, daß sie eine 0,4 mm dicke Bleiplatte nicht mehr durchdrangen; die parallele Funkenstrecke der Röhre betrug 2,0 bis 2,5 cm — das Milliamperemeter im Sekundärkreis des Induktors zeigte 0,3 Milliampere.

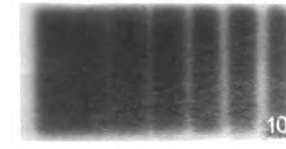












Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

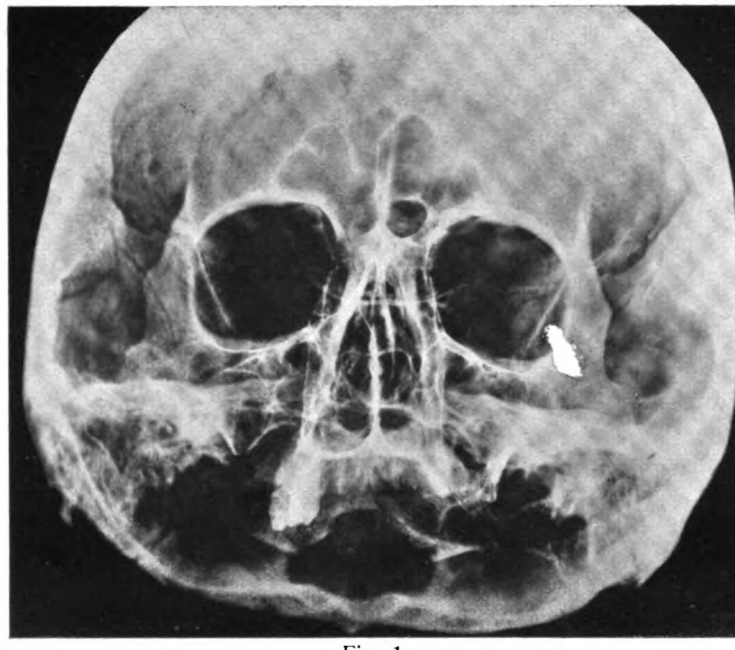


Fig. 1.

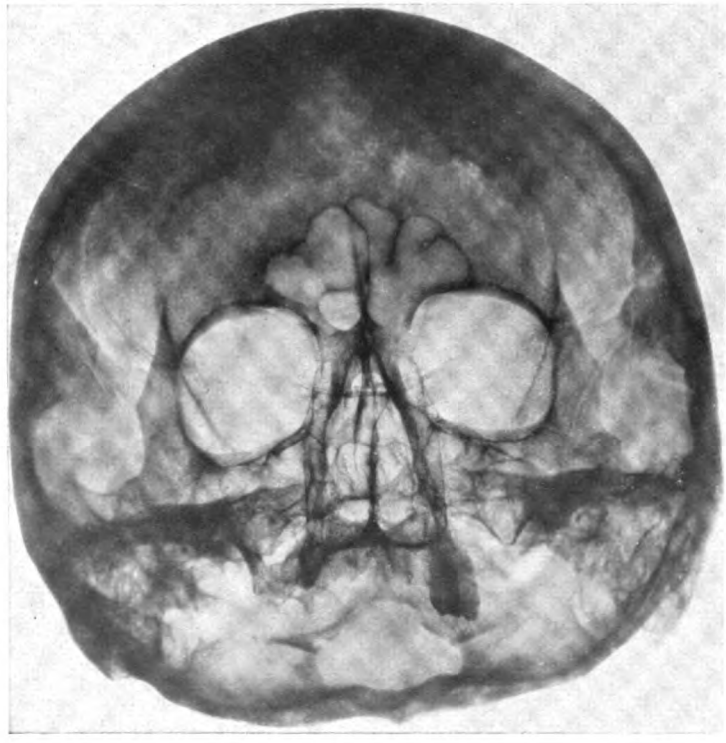


Fig. 2.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

Wurde die gleiche Kugel bei derselben Expositionszeit und gleichem Röhrenabstand aufgenommen, jedoch mit etwas weicheren Röntgenstrahlen (die parallele Funkenstrecke betrug nur 1,0 cm und die Strahlen gingen nicht mehr durch eine 0,2 mm dicke Bleiplatte, Stromstärke 0,1 Milliampere), so zeigte das erhaltene Bild keine Spur von Schattierung; man erhielt ein sog. „Ausfallbild".

Aus den beschriebenen und anderen Versuchen schließt Alexander, daß einerseits die Röntgenstrahlen die Bleikugel nicht durchstrahlen, anderseits die beschriebene Erscheinung aber auch nicht durch Unterstrahlung allein erklärt werden kann. Wenn trotzdem die Schattierung des Röntgenbildes derart ist, daß wir die plastische Darstellung einer Kugelfläche erhalten, so könne diese, nach Alexander, nur von der unteren, das heißt der Platte anliegenden Fläche der Kugel herrühren. Den Grund der Erscheinung sieht Alexander in einem reflektorischen Prozeß, der sich zwischen der unteren Fläche der Kugel und der oberen Fläche der photographischen Platte abspielt.

Worauf die plastische Darstellung sowohl der leicht- als der undurchlässigen Körper, als auch der zwischen beiden „Grenzbildern" liegenden zurückzuführen ist, ist noch nicht restlos klargestellt. Nur einige Punkte, welche hierbei mehr oder weniger mitwirken, will ich anführen:

Wenn wir uns den darzustellenden Körper aus einer großen Zahl sehr kleiner einzelner Körperteilchen zusammengesetzt denken, so muß unter einem Körperteilchen, das von der Platte weiter entfernt ist — für sich allein betrachtet und unter sonst gleichen Bedingungen — intensivere Schwärzung der Platte auftreten, als unter einem genau gleichen Körperteilchen, das näher an der Platte liegt; ferner zeigt sein Schatten weniger scharfe Konturen, ist also verschwommener, und endlich wird es größer dargestellt, als das der Platte näher befindliche.

Eine zweite wichtige, hier zu berücksichtigende Tatsache, auf die ich noch zurückkommen werde, ist die, daß die Strahlen, welche unsere Röntgenröhren liefern, nicht von einem Punkte, sondern von einer mehr oder weniger großen Fläche der Antikathode ausgehen, und außerdem von der Glaswandung der Röhre (siehe S. 42), daß also an der Darstellung des oben erwähnten kleinen Körperteilchens eine unendliche Anzahl nicht nur verschiedenartiger Strahlen mitwirken, sondern auch Strahlen, die von einer unendlichen Anzahl verschiedener, mehr oder weniger entfernter Punkte ausgehen. Wenn auch hierbei die vom Fokus, also von relativ kleiner Fläche ausgehenden Strahlen an der Bilddarstellung im allgemeinen besonders stark beteiligt sind, so sind doch auch die anderen nicht zu vernachlässigen.

Ein dritter Punkt, welcher bei der Entstehung der plastischen Röntgenbilder eine große Rolle spielen dürfte, ist der Umstand, daß von jedem von Röntgenstrahlen getroffenen Teilchen, nicht nur des dargestellten Körpers, sondern auch der Umgebung desselben selbst wieder Röntgen- und Kathodenstrahlen ausgehen, von welchen wenigstens ein Teil bei der Bilddarstellung mitwirkt.

Ein vierter Gesichtspunkt endlich, der hier auch in Frage kommt, ist der, daß die von den Röntgenstrahlen getroffenen Randpartien des Körpers im allgemeinen andere Schichtdicke haben, als die ihnen benachbarten Körperpartien und infolgedessen die Platte dort mehr oder weniger belichtet wird.

Wie außerordentlich kompliziert das Röntgenbild ist und wie schwer infolgedessen seine Beurteilung vom physikalischen Standpunkt aus, habe ich an anderer Stelle („Über Präzisions-Röntgenogramme." Röntgen-Taschenbuch. IV., S. 115. 1912) wie folgt ausgeführt: Bekanntlich entwirft ein von einem Punkt ausgehendes Röntgenstrahlenbündel von einem Körper ein Schattenbild. Letzteres unterscheidet sich von den gewöhnlichen durch Lichtstrahlen hervorgerufenen Schattenbildern undurchsichtiger Körper jedoch sehr wesentlich. Bei diesen erhalten wir nur eine Projektion der Konturen des schattenwerfenden Körpers, bei dem Röntgenstrahlenschattenbild dagegen wird von jedem einzelnen Molekül des schattenwerfenden Körpers ein Schattenbild entworfen, das sich im allgemeinen von demjenigen seines Nachbarmoleküls in bezug auf Intensität unterscheidet. Der effektive, gesamte Röntgenstrahlenschatten setzt sich somit aus einer unendlichen Anzahl über- und nebeneinander gelegener, verschieden intensiver Schattenbilder zusammen. Betrachten wir nur zwei aufeinanderfolgende, in der Richtung eines Röntgenstrahles liegende Moleküle: In dem ersten, dem Ausgangspunkt des Röntgenstrahles näher gelegenen, wird ein Teil des Röntgenstrahles absorbiert; das nächste von dem geschwächten und in seiner Art veränderten Röntgenstrahl getroffene Molekül verursacht — selbst wenn es gleich dicht wäre, wie das erstgenannte — infolgedessen einen anderen Schatten. Betrachten wir ferner zwei in verschiedenen Strahlenrichtungen liegende Moleküle und nehmen wir sogar an, daß diese von zwei gleichartigen Röntgenstrahlen getroffen werden, nehmen wir ferner an, daß auch die Dichte dieser beiden Moleküle gleich wäre, so hängt doch noch die Intensität des Schattens beider Moleküle sehr wesentlich von ihrer Entfernung vom schattenauffangenden Körper (z. B. der photograph. Platte) ab. Je weiter das Molekül von letzterem entfernt ist, desto stärker wird der hinter ihm

gelegene Teil der Platte geschwärzt und umgekehrt, je näher es diesem liegt, desto schwächer. Wenn man nun berücksichtigt, daß die einzelnen Moleküle im allgemeinen verschieden dicht sind, daß in jedem einzelnen Strahl eine sehr verschiedene Anzahl von Molekülen hintereinander liegen, daß die Entfernungen der einzelnen Moleküle von dem schattenauffangenden Körper sehr verschieden sind, daß ferner die nach verschiedener Richtung verlaufenden Röntgenstrahlen selbst ungleichartig sind und endlich, daß jedes von einem Röntgenstrahl getroffene Atom selbst wieder den Ausgangspunkt für neue Röntgenstrahlen bildet, so ist leicht ersichtlich, daß das Röntgenstrahlenschattenbild ein außerordentlich kompliziertes Gebilde ist, das mit dem gewöhnlichen Lichtstrahlenschattenbild sehr wenig, und zwar nur die äußeren Konturen gemeinsam hat.

Wir haben bei vorstehender Betrachtung der Einfachheit halber angenommen, daß die Röntgenstrahlen von einem einzigen Punkt ausgehen, was aber in unseren Röntgenröhren durchaus nicht der Fall ist. Dieser Umstand ist von großer Bedeutung für die Herstellung von Röntgenaufnahmen höchsterreichbarer Schärfe, die ich „Präzisionsröntgenogramme“ nannte. Zur Erläuterung dessen diene folgende Überlegung:

Stellen wir uns vor, daß in einem Abstand von 40 cm von der Antikathode eine photographische Platte sich befindet und in der Mitte

Fig. 14.

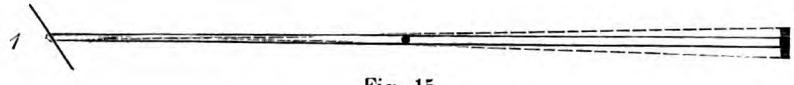


Fig. 15.

Fig. 16.

zwischen Platte und Fokus, also in einer Entfernung von 20 cm, ein Schrotkorn von 1 mm Durchmesser; bei einer idealen Röntgenröhre, bei welcher der Fokus ein Punkt ist, ergibt sich dann ein Röntgenschatten von 2 mm Durchmesser (Fig. 14).

Nehmen wir ferner an, daß bei einer bestimmten, sehr guten Röntgenröhre die Ausgangsfläche der Röntgenstrahlen (der Fokus) einen Kreis von 1 mm Durchmesser darstellt, so wird von dem Schrot-

korn, wie Fig. 15 zeigt, ein Schatten erzeugt, der aus 2 Zonen besteht, einer Zone, in welche gar kein Röntgenstrahl fällt, die also vollständig unbelichtet bleibt (Kernschatten), und einer Zone, welche teilweise von Röntgenstrahlen getroffen wird, die somit einen schwachen Schatten darstellt (Halbschatten). In dem von mir gewählten Beispiel eines Fokus von 1 mm Durchmesser wird der intensive Kernschatten, wie aus Fig. 15 ersichtlich, kleiner als der Schatten, den die ideale Röntgenröhre ergibt (Fig. 14), er nähert sich somit mehr dem wirklichen Durchmesser des Schrotkornes. Außer dem Kernschatten tritt aber, wie erwähnt, ein schmaler Halbschatten auf, der dadurch entsteht, daß ein Teil der Röntgenstrahlung einen Schatten des Schrotkornes hervorruft, ein anderer Teil aber diesen Schatten selbst wieder belichtet.

Betrachten wir nun eine andere, weniger gute Röntgenröhre, bei welcher der Fokus nicht 1 mm, sondern 5 mm Durchmesser besitzt, so wird das Schattenbild ein ganz anderes; von einem Kernschatten ist jetzt gar nichts mehr zu sehen (Fig. 16), jede Stelle der Platte wird nun direkt von Röntgenstrahlen getroffen; es treten nur noch Halbschatten auf, und zwar ein zentral gelegener, der weniger stark belichtet, also etwas intensiver ist, und ein äußerer Halbschatten, der stärker belichtet, also weniger intensiv ist. (In der Zeichnung durch dichter und weniger dicht schraffierte Flächen angedeutet.) Die beiden Halbschatten der Fig. 16 sind in Wirklichkeit nicht scharf voneinander getrennt, sondern sie gehen allmählich ineinander über. Daher wird durch das scharf begrenzte, nahezu vollständig undurchlässige Schrotkorn nicht nur ein sehr schwacher, sondern auch ein ganz unscharfer, verschwommener Schatten erzeugt. Ist das Schrotkorn noch etwas weiter von der Platte entfernt, so kann der Schatten so schwach und verschwommen werden, daß er überhaupt nicht mehr sichtbar ist.

Bei unserem Beispiel haben wir angenommen, daß wir einen der undurchlässigsten Körper, nämlich Blei, umgeben von einem der durchlässigsten, nämlich Luft, röntgenographisch darstellen, — für ein Röntgenogramm die denkbar günstigsten Verhältnisse. In Wirklichkeit liegen diese außerordentlich viel ungünstiger, da die aneinandergrenzenden Körper häufig nur sehr geringe Dichtigkeitsunterschiede besitzen und infolgedessen eine Differenzierung noch sehr viel schwieriger ist; der unscharfe und schwache Schatten ist daher häufig gar nicht zu konstatieren. Um so mehr müssen wir — einerseits der Schärfe der Röntgenogramme wegen und anderseits, um gewisse Details überhaupt noch zu erkennen — dafür sorgen, daß die Kathodenstrahlen in möglichst kleiner Fläche auf die Antikathode fallen.

Die eben angestellte Betrachtung ist durchaus nicht nur von theore-

tischer, sondern auch von größter praktischer Bedeutung; man kann sich davon durch folgenden Versuch überzeugen: Röntgenographische Aufnahmen wurden von einem Schärfemeßinstrument (Walter-sches Fokometer) hergestellt, das aus 6 verschieden dicken Metalldrähten besteht, welche nebeneinander angeordnet sind und deren Dicke von 1 mm bis $^1/_{20}$ mm variiert; die Antikathode der Röntgenröhre befand sich 20 cm von diesen Drähten und letztere wieder 20 cm von der photographischen Platte entfernt. Die Röntgenaufnahme der erwähnten Drähte wurde mittels 4 der meist gebräuchlichen Röntgenröhren und unter möglichst gleichen Bedingungen aufgenommen, also mit gleichartigen und gleich starken Strömen, in gleichen Abständen von der Röhre, auf der gleichen Platte gleich lang belichtet und mit demselben Entwickler gleichzeitig und gleich lang entwickelt. Jede Röhre wurde ohne Blende benützt, und zwar so, daß ihre Achse, d. i. die Verbindungslinie zwischen Mitte der Kathode und Fokus, parallel zur photographischen Platte verlief und für alle Röhren die gleiche Richtung hatte. Das Röntgenogramm a (Bild Nr. 10 auf Tafel II) ist mit meiner Präzisionsröhre aufgenommen worden. Die drei übrigen, b, c, d, mit drei verschiedenen, in Deutschland sehr viel verwendeten Röhren anderer Herkunft. Der gewaltige Unterschied ist deutlich ersichtlich; bei c erkennt man die Schatten der vier dicken Drähte, bei b und d auch noch schwach denjenigen des fünften, bei a dagegen alle sechs. Was mir aber viel wichtiger erscheint, ist, daß bei a im Gegensatz zu b, c, d scharfe Konturen jedes einzelnen Schattens zu erkennen sind; dies erklärt sich aus der durch die Figuren 14, 15 und 16 gegebenen graphischen Darstellung ganz von selbst. Noch viel bedeutsamer wird die Schärfe der Röntgenröhre, wenn — wie in der röntgenologischen Praxis — eine Verschleierung des ganzen Bildes durch Sekundärstrahlen eintritt. Ich habe diesen Fall bei den Versuchsaufnahmen durch dicke Aluminiumplatten (bis zu 25 mm Dicke) künstlich erzeugt, die auf die photographische Platte gelegt wurden. In der Originalarbeit habe ich auch Reproduktionen derartiger Röntgenogramme wiedergegeben, die zeigen, daß die Röntgenröhre mit kleinem Fokus auch in diesen Fällen bedeutende Vorzüge bietet.

Aus dem Vorstehenden folgt, daß zur Herstellung von „Präzisionsaufnahmen“ unbedingt Röntgenröhren notwendig sind, welche einen sehr kleinen Fokus besitzen.

Nachdem es mir gelungen war, solche Röntgenröhren — ich nannte sie Präzisionsröhren — regelmäßig herzustellen, hätte man erwarten sollen, daß die Frage der Erzeugung von Präzisionsaufnahmen gelöst sei. Dies war jedoch nicht der Fall.

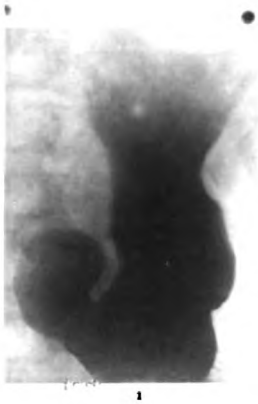
Wenn auch die Kleinheit des Fokus einer Röntgenröhre von sehr

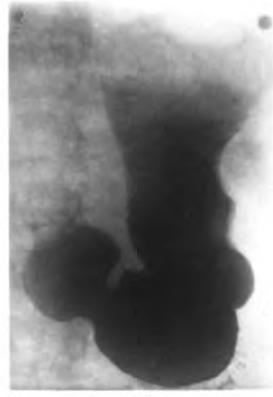
großer Wichtigkeit für die Schärfe der Röntgenogramme ist, so ist sie es doch durchaus nicht ausschließlich. Man kann sich hiervon durch Lochkameraaufnahmen überzeugen, wie sie schon von Röntgen und später in sehr eingehender Weise von Gocht ausgeführt wurden. Wenn man diese mit den Röntgenaufnahmen des Schärfemessers vergleicht, erkennt man unter Umständen, daß der kleinere Fokus nicht immer der größeren Schärfe entspricht. Der Grund hierfür liegt, wie ich fand, in den vagabundierenden Kathodenstrahlen, d. h. den Kathodenstrahlen, welche — außer den im Fokus vereinigten — innerhalb der Röntgenröhre auftreten. Diese vagabundierenden Kathodenstrahlen erzeugen natürlich auch Röntgenstrahlen, die jedoch von verschiedenen Stellen der Röntgenröhre ausgehen und infolgedessen das Röntgenbild unschärfer machen.

Nachdem auch diese ungewünschten Kathodenstrahlen weitgehendst verringert worden waren — vollständig lassen sie sich nicht ausschalten —, war zur Erzielung von Präzisionsaufnahmen eine weitere und zwar recht beträchtliche Schwierigkeit zu überwinden. Es zeigte sich nämlich, daß die im Vorstehenden erwähnte Präzisionsröhre, besonders bei schwierigeren Aufnahmen, infolge der großen Wärmeerzeugung im Fokus sehr leicht geschädigt oder zerstört wurde. Man mußte deshalb, wenn man ohne großen Röhrenverbrauch mit Präzisionsröhren arbeiten wollte, die Bedingungen erforschen, unter welchen man bei möglichst geringer Belastung eine möglichst große Röntgenstrahlenausbeute erhält, so daß die Röntgenröhre während der zur Erzeugung eines ausexponierten Bildes notwendigen Zeit in keiner Weise geschädigt wird.

Diese Bedingungen konnte ich auf Grund umfangreicher Untersuchungen über die Qualität (Kurvenform) des die Röntgenröhre durchfließenden elektrischen Stromes feststellen. Ich kann an dieser Stelle nicht näher hierauf eingehen, sondern muß diesbezüglich auf die S. 34 erwähnte Arbeit und auf das Kapitel „Röntgentechnik“ verweisen, aus welchen ersichtlich ist, wie die in die Röhre zu leitenden Ströme beschaffen sein sollen.

Unter Verwendung der Resultate dieser Untersuchungen gelangen mir 1907 äußerst kurzzeitige Röntgenaufnahmen („Moment-Aufnahmen“), die — neben manch anderem — erstmals scharfe Aufnahmen des in Bewegung befindlichen menschlichen Magens herzustellen gestatteten (s. Rieder u. Kästle „Neue Ausblicke auf die weitere Entwicklung der Röntgen-Diagnostik“, Münch. Med. Woch. 1908, Nr. 8). Hiermit war die Möglichkeit gegeben zu der von Rieder, Kästle und mir 1908 ausgeführten „Röntgenkinematographie“. Als Beispiel der letzteren ist auf Tafel IV eine Verkleinerung


1


2

3

6

5

4

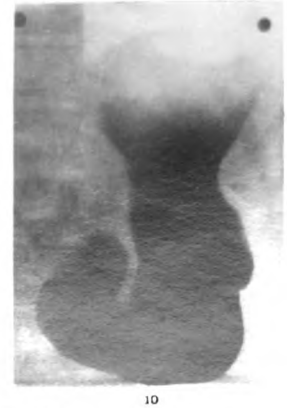
7

8

9

12

11


10

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

Rotation: Photographien Paul O. Wiebe, Berlin W 30

einer Serie von 12 während einer Atempause aufgenommenen Magenröntgenogrammen — ohne irgendwelche Retouche — wiedergegeben, welche 1909 von Rieder, Kästle und mir aufgenommen wurde und die u. a. zeigt, daß gute Momentaufnahmen des sich bewegenden Magens außerordentlich scharfe Konturen aufweisen (s. Münch. Med. Woch. 1909, Nr. 6, Zeitschr. f. Röntgenkunde 1910, Nr. 1, und Röntgentaschenbuch Bd. III, S. 46, 1911). In den Kapiteln „Die Röntgenuntersuchung des Magens" und „Röntgentechnik" (s. Bd. II) wird über die Röntgenkinematographie noch eingehend berichtet werden.

Auf die „Schärfe" der Röntgenbilder, ebenso wie auf deren „Kontrast" ist in dem die Röntgentechnik behandelnden Kapitel noch zurückzukommen, desgleichen auf eine Reihe anderer physikalischer Fragen, die in innigem Zusammenhang mit der Technik stehen.

Literatur

(soweit nicht schon im Text angegeben).

Alexander, B., Verh. d. deutsch. Röntgenges. II., S. 74, 1906.
Alexander, B., Physikal. Zeitschr. **16**, S. 141, 1915. **17**, S. 15, 1916.
Barkla, C. G., Phil. Trans. London **204**, 467, 1905. Proc. Roy. Soc. **77**, 247, 1906.
Barkla, C. G., u. Sadler, C. A., Philosoph. Mag. (6) **16**, S. 550, 1908.
Behnken, H., Zeitschr. f. Physik, **3**, S. 48, 1920.
Bragg, W. L., Proc. Cambridge Phil. Soc. **17**, S. 43, 1913.
Bragg, W. H. u. W. L., Proc. Roy. Soc. 88, S. 277, 428, 1913. **89**, S. 246, 430, 1914.
Broglie, M. de, Compt. rend. **157**, S. 924, 1413, 1913. **158**, S. 177, 1914. Journ. de Phys. (5) **4**, S. 101, 1914.
Christen, Th., Strahlentherapie, Bd. I, S. 325ff., 1912.
Crookes, Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand. Deutsch von H. Gretschel (Leipzig, Quandt & Händel, 4. Aufl. 1894).
Duane, W., u. Hunt, F. L., Physical Rev. **6**, S. 166, 1915.
Friedrich, W., Knipping, P. u. Laue, M., Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften Mathem. physik. Kl. 1912.
Glocker, R., Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **24**, S. 91, u. 528, 1916. **26**, S. 363, 1919.
Gocht, H., Über Röntgenröhren und Untersuchungen mit der Lochkammer. Verh. d. deutsch. Röntgenges. I., S. 134, 1905.
Goldstein, E., Ber. d. Berl. Akad. **39**, 691, 1886.
Haga, H., u. Wind, C. H., Annalen der Physik **10**, S. 305, 1903.
Hittorf, Pogg. Ann. 136, S. 1ff., 1869.
Lenard, Ph., Wied. Ann. 51, p. 225ff., 1894.
March, Staunig u. Fritz, Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **29**, S. 212, 1922.
Moseley, H. G. J., Philosoph. Mag. **26**, S. 1024, 1913. **27**, S. 703, 1914.
Perthes, G., Fortschr. a. d. G. d. Röntgenstr. VIII., p. 12ff., 1904.
Plücker, Pogg. Ann. 105, S. 67ff. 1858; 107, S. 77ff. u. 497ff. 1859; 113, S. 249ff. 1861; 116, S. 27ff. 1862.

Röntgen, W. C., Über eine neue Art von Strahlen. Sitzungsber. d. Würzburger Physikal. Mediz. Gesellsch. 1895.

Röntgen, W. C., Über eine neue Art von Strahlen (Zweite Mitteilung). Sitzungsber. d. Würzburger Physikal. Mediz. Gesellsch. 1895.

Röntgen, W. C., Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. in Berlin 1897.

Rosenthal, J., Über scharfe Röntgenogramme und über Schnellaufnahmen. Bericht des 4. internat. Radiologen-Kongr. Amsterdam 1908. S. 433 und Arch. für physik. Mediz. und mediz. Technik. IV., S. 185ff., 1909.

Rosenthal, J., Über Schärfe und Kontrast von Röntgenbildern. Verh. der deutsch. Röntgenges. VI., S. 112ff., 1910.

Rutherford, E. u. da Andrade, E. N., Philos. Mag. **28**, S. 263, 1914.

Seemann, H., Physikal. Z. S. **18**, S. 242, 1917. **20**, S. 51, 1919. Elektrot. Z. S. **43**, S. 220, 1922.

Stokes, G. G., Proceedings of the Cambridge Philos. Soc. IX, p. 215, 1896.

Ulrey, C. T., Physical. Rev. **11**, S. 401, 1918.

Wagner, E., Physikal. Zeitschr. **16**, S. 32, 1915. Annalen d. Physik (4) **46**, S. 868. 1915. Jahrb. d. Radioakt. u. Elektronik **16**, S. 216, 1920.

Walter, B., u. Pohl, R., Annalen der Physik **25**, S. 715, 1908. **29**, S. 331, 1909.

Wertheimer, A., Über Strom- und Spannungs-Verlauf (Charakteristik) an Röntgenröhren. Leipzig, S. Hirzel, 1911.

Wiechert, E., Wiedem. Annalen 59, S. 321, 1896.

Wiedemann, E., u. Ebert, H., Sitzungsber. der phys. med. Soc. zu Erlangen, Dezbr. 1891.

Röntgentechnik.

Von Dipl.-Ing. Dr. phil. **Josef Rosenthal,** München.

Mit 229 Abbildungen im Text und 1 photographischen Tafel.

Übersicht.

Seite

I. Hochspannungs-Apparate . . . . . 810—869

A. Induktor-Apparate mit Unterbrecher . . . . . 810—850

1. Schließungs- und Öffnungs-Strom 811
2. Primär- und Sekundärwicklung 812
3. Sekundärströme einer Richtung 812
4. Sekundärstromkurven 813
5. Unterbrecher: . . . . . 818—836

a) Platinkontakt-Unterbrecher. — Kondensator. b) Quecksilber-Unterbrecher: -Tauch-U., -Gleit-U., -Strahl- oder Turbinen-U. (Gas-U.), -Zentrifugal-U. c) Elektrolytische Unterbrecher: Wehnelt-U., Simon-Caldwell-U. d) Bedeutung der Unterbrechungszahl. e) Stromart (Gleich- bzw. Wechselstrom). f) Vergleich der verschiedenen Unterbrecher.

6. Leistungsfähigkeit des Induktoriums, Momentapparate (Universal-Induktor. — Doppel-Röhrenbetrieb) 836
7. Einzelschlag-Apparate (Blitzapparate) 843
8. Kurzzeitige Röntgen-Aufnahmen 846
9. Bedeutung der Moment-Aufnahmen 847
10. Vorrichtungen zur Unterdrückung der ungewünschten Stromphase (Vorschaltfunkenstrecke. — Ventil-Röhren) 848

B. Unterbrecherlose Apparate mit mechanischem Hochspannungs-Gleichrichter . . . . . 851—859

1. Koch'scher Röntgentransverter 851
2. Des Coudres'scher Apparat 852
3. Vor- und Nachteile der Hochspannungs-Gleichrichter 853
4. Transverter-Einrichtung 854
5. Ideal-Apparat — Weichstrahl-Apparat 858
6. Multivolt-Apparat 858
7. Neo-Intensiv-Apparat 858
8. Eresco-Universal-Gleichrichter 859

C. Unterbrecherlose Apparate ohne mechanischen Hochspannungs-Gleichrichter . . . . . 860—869

1. Thermion-Apparat 860
2. Radiosilex-Apparat 861
3. Stabilivolt-Apparat 862
4. Hartstrahl-Maschine 864

Seite

5. Kondensator-Apparate: 865
a) Apparat von Norton und Lawrence. b) Apparat von Tesla. c) Grissonator.
3. Eresco-Stromschließer 868
4. Hochfrequenz-Apparate 869

D. Influenz-Maschine 869

II. Die Röntgen-Röhre . . . . . 870—908

A. Gashaltige Röntgen-Röhren (Ionen-Röhren) . . . . . 870—894
1. Verschiedene Arten: . . . . . 870—887
a) Röhren mit metallarmer Antikathode. b) Röhren mit metallreicher Antikathode (Alpha-Röhre). c) Wasserkühlröhre. d) Zangenröhre. e) Röhren mit besonders schwerer Antikathode. f) Luftkühlröhren. g) Wasserzirkulationsröhren. h) Luftzirkulationsröhren. i) Maximum-Röhre. k) Ultradur-Röhre. l) Siedekühlröhre. m) Nahbestrahlungsröhren. n) Präzisionsröhre. o) Blitzröhre. p) Wolfram-Röhre. q) Blenden-Röhre. r) Spezielle Röhrentypen. s) Bikathodenröhre. t) Stereo-Röhre. u) Röhren für besonders weiche Strahlen (Spezialröhre Nr. II und Lindemann-Röhre).
2. Regulier-Vorrichtungen: . . . . . 887—894
a) Regulierung mittels Wärme. b) Regulierung mittels elektrischen Stromes. c) Regulierung mittels Osmose (Villard-Chabaudsche Osmoregulierung, Distanzregulator). d) Regulierung mittels atmosphärischer Luft (Bauer-Regulierung). e) Allgemeine Bemerkungen über das Regulieren.

B. Gasarme oder Elektronen-Röntgenröhren . . . . . 894—908
a) Mit glühender Kathode (Glühkathodenröhren) . . . . . 894—907
Lilienfeld-Röhre 894
Coolidge-Röhre 898
Strahlungskühlung 902
Luftkühlung 902
Wasserkühlung 902
Doppelfokusröhre 903
Röhren mit linienartigem Brennfleck 904
Metallröhren. — Philips-Metallröhre 905
b) Mit kalter Kathode (Äonenröhre) 907

III. Hilfs-Vorrichtungen und Utensilien . . . . . 908—996

A. Hilfs-Apparate und Einrichtungsgegenstände . . . . . 909—958
1. Schalttisch bzw. Schalttafel 910
2. Schutzwand, Schutzgehäuse, Bestrahlungskasten 914
3. Röntgenröhrenstative 916
4. Blenden und Filter 922
5. Untersuchungsstative 926
6. Lagerungstische (Trochoskop) 930
7. Fixierungs- und Kompressions-Vorrichtungen 931
8. Orthodiagraph 936
9. Universalstative 940
10. Röntgenstereo-Aufnahme-Apparate, Röntgenstereo-Durchleuchtung . 943
11. Röntgenstereo-Meß- und Besichtigungs-Apparate 946
12. Plattenbetrachtungs-Apparat 950
13. Röntgenkinematograph (Bioröntgenograph), Serienaufnahme-Apparat 950

Seite

14. Röntgenkymograph 954
15. Röhrengestell 956
16. Aufbewahrungsschrank 956
17. Hochspannungsleitungen 957

B. Meß-Instrumente . . . . . 958—978

1. Qualitäts-Messung (Härte) . . . . . 958—968

a) Direkte Härtemesser: . . . . . 958—964

α. Benoist'scher, b. Wehnelt'scher, c. Benoist-Walter'scher, d. Walter'scher, e. Christen'scher Halbwertschichtmesser. f. Radio-Sklerometer von Villard. g. Universal-Ionometer. h. Härteskala nach Fürstenau. i. Strahlenanalysator nach Glocker. k. Röntgenspektrometer.

b) Indirekte Härtemesser: . . . . . 964—968

α. Parallele Funkenstrecke. b. Sklerometer von Klingelfuß. c. Kilovoltmeter. d. Elektrostatisches Hochspannungsvoltmeter nach Bergonié. e. Qualimeter nach Bauer. f. Milli-Ampèremeter.

2. Quantitäts- bzw. Intensitäts-Messung . . . . . 968—978

a) Direktmessende Instrumente: . . . . . 968—976

α. Chromoradiometer von Holzknecht. b. Chromoradiometer von Sabouraud und Noiré. c. Holzknecht-Skala. d. Quantimeter nach Kienböck. e. Kalomel-Radiometer nach Schwarz. f. Ionto-Quantimeter nach Szillard. g. Universal-Ionometer von Siemens und Halske. h. Ionometer nach Wulf. i. Siemens-Röntgendosismesser. k. Intensimeter nach Fürstenau.

b) Indirektmessende Instrumente: . . . . . 976—977

α. Milli-Ampèremeter. b. Thermometer. c. Glimmlichtröhre.

3. Bildschärfe-Messung (Fokometer) 978

C. Verschiedene Hilfsmittel . . . . . 978—996

1. für Durchleuchtungen: . . . . . 978—987

a) Verdunklungsvorrichtung. b) Durchleuchtungsschirme und Zubehör. c) Schutzschild nach Peltason. d) Parvograph. e) Kompressionsblendenschirm. f) Durchleuchtungskompressorium. g) Kryptoskop. h) Stirnkryptoskop. i) Radioskop nach Chaoul. k) Löffeldistinktor. l) Punktdistinktor. m) Bleiknopfzeiger.

2. für Aufnahmen: . . . . . 987—993

a) Bleikiste. b) Einzelpackung. c) Aufnahme-Kassetten. d) Verstärkungsschirme. e) Doppelplattenverfahren. f) Plastische Röntgenbilder. g) Schaukelapparate. h) Dunkelkammerlampe.

3. für Durchleuchtungen und Aufnahmen: . . . . . 993—994

a) Wechselrahmen nach Weiser. b) Wabenblende nach Bucky. c) Bucky'sche Aufnahmeblende, Potter-Bucky-Blende. Aufnahmeblende nach Pasche. d) Kontrastmittel.

4. Schutzmittel: 994

a) Schutz gegen Röntgen-Strahlung (Bleiblech, Leukoplastfolie, Bleigummiplatte, Barytsteine). b) Schutz gegen elektrische Entladungen (Paragummi, Hartgummi, Glas). c) Erneuerung der Luft des Röntgenraumes.

5. Verschiedene Utensilien 995

IV. Komplette Röntgen-Apparate (Transportable Apparate) . . . . . 996—1000

Wenn ich die außerordentlich große Zahl von Apparaten und Vorrichtungen, welche die Röntgentechnik aufweist, beschreiben wollte, — selbst wenn ich nur alle praktisch guten und bewährten Konstruktionen auswählen würde —, müßte ich den mir zur Verfügung stehenden Raum dieses Lehrbuches um ein Vielfaches überschreiten. Die von mir angeführten Apparate sind deshalb nur als Beispiele der mannigfachen Ausführungsformen zu betrachten. Ich werde aber bei dieser Auswahl bemüht sein, nur solche Konstruktionen zu bringen, welche nach der einen oder anderen Richtung Vorzüge besitzen, z. B. in bezug auf Zweckmäßigkeit, Einfachheit, Genauigkeit etc. Leider lassen sich nur selten alle wünschenswerten Eigenschaften in einer Konstruktion vereinen.

Wie im Kapitel „Praktische Röntgenphysik" (Band I Seite 23) bereits erwähnt, dienen zur Erzeugung der in die Röntgenröhre zu leitenden hochgespannten Ströme:

I. Die Hochspannungsapparate,

und zwar kommen in Betracht:

A. Induktorapparate mit Unterbrecher,

B. Unterbrecherlose Apparate mit mechanischem Hochspannungs-Gleichrichter,

C. Unterbrecherlose Apparate ohne mechanischen Hochspannungs-Gleichrichter,

D. Die Influenzmaschine.

A. Induktorapparate mit Unterbrecher.

Wenn der elektrische Strom irgendeiner Stromquelle „Q" (Fig. 523) durch eine Drahtspirale „P" geleitet und plötzlich geschwächt oder unterbrochen (geöffnet) wird, so entsteht während des Verschwindens bzw. während der Abschwächung des primären Stromes in der Drahtspirale ein induzierter sogenannter „Öffnungsstrom", dessen Richtung mit derjenigen des primären übereinstimmt, diesen also zu verstärken sucht. Wird umgekehrt der Primärstrom mittels eines Schalters „Sch" plötzlich eingeschaltet (geschlossen) oder verstärkt, so entsteht in der Drahtspule ein dem primären entgegengesetzt gerichteter Stromstoß, der sogenannte „Schließungsstrom", welcher den Primärstrom schwächt.

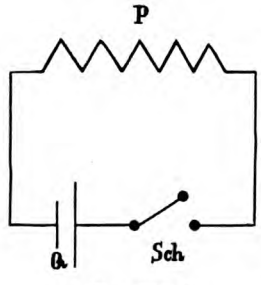


Fig. 523.[1])
Schema des Stromverlaufes in einer Drahtspule P.

[1]) Um eine Änderung der zahlreichen Hinweise im Text zu vermeiden, ist die Numerierung der Abbildungen im Lehrbuch beibehalten worden.

Man nennt diese

Schliessungs- und Öffnungsströme,

welche in dem Stromkreis induziert werden, „Extraströme"; sie werden verursacht durch die sogenannte „Selbstinduktion". Unter letzterer versteht man die Induktion, welche die einzelnen Windungen eines Stromkreises, z. B. der Primärwicklung, auf sich selbst ausüben und zwar nicht nur einer Windung auf eine benachbarte, sondern auch jedes einzelnen Drahtstückchens einer Windung auf sich selbst. Man kann sich z. B. ein solches Drahtstück in zwei halbdicke Drähte gespalten vorstellen, die einander parallel geschaltet sind; dann erkennt man ohne weiteres, daß die eine Hälfte des Drahtes auf die andere induzierend wirkt. Wie insbesondere Klingelfuß (Untersuchungen an Induktorien an Hand der Bestimmungsstücke derselben [Wiedemanns Annalen 4, V, 1901, S. 837]) nachgewiesen hat, spielen diese Extraströme für die Induktorien eine außerordentlich wichtige Rolle, weshalb auf die erwähnte, auch in anderer Beziehung wertvolle Arbeit besonders hingewiesen werden soll.

Bringt man in das Innere der Drahtspule „P" einen „Eisenkern" „E", so wird die Induktion, d. h. die induzierte elektrische Spannungsdifferenz an den Enden der Spule „P", und damit auch der in ihr verlaufende induzierte Strom wesentlich größer. Die Spannungsdifferenz wird ferner um so größer, je mehr Windungen die Spule „P" besitzt und je stärker der primäre, durch die Spule „P" fließende Strom ist, dessen Öffnung bzw. Schließung die Induktion hervorruft. Auch von der Geschwindigkeit, mit welcher der in „P" fließende Strom verschwindet beziehungsweise entsteht, hängt die elektrische Spannungsdifferenz an den Enden der Spule in hohem Grade ab, und zwar ist sie um so größer, je schneller der Strom verschwindet bzw. entsteht.

Ebenso wie in der Drahtspule „P" selbst werden auch in jeder anderen in deren Nachbarschaft befindlichen zweiten Drahtspule „S" solche Öffnungs- bzw. Schließungsströme induziert, besonders stark in einer Spule „S", welche konzentrisch um die Spule „P" angeordnet ist (Fig. 524). „P" und „S" werden

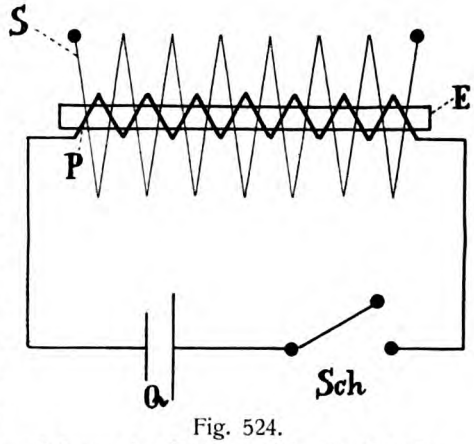


Fig. 524.
Schema des Stromverlaufes im Primär- und Sekundärkreis des Induktoriums.

Primär- bzw. Sekundärwicklung

genannt.

Da ebenso wie an den Enden der Primärwicklung auch an den Enden der sekundären Spule die elektrische Spannungsdifferenz um so größer ist, je mehr Windungen sie besitzt, je größer die Stromstärke in der Primärwicklung ist und je schneller der Primärstrom entsteht bzw. verschwindet, so kann man bei Verwendung einer bestimmten Primärwicklung besonders starke sekundäre Induktionswirkungen erzielen, wenn:

1) die Sekundärspule „S" sehr viele Windungen besitzt,
2) in der Primärspule „P" sehr starke Ströme entstehen, bzw. verschwinden und
3) dieses Entstehen bzw. Verschwinden des Primärstromes möglichst schnell erfolgt.

Für den Betrieb von Röntgenröhren sind bekanntlich außerordentlich hochgespannte elektrische Ströme erforderlich; daher müssen bei der Herstellung von Induktorien für Röntgenzwecke die 3 erwähnten Bedingungen in erster Linie berücksichtigt werden.

Bevor ich jedoch auf die genannten 3 Faktoren näher eingehe, muß ich noch einen wichtigen Punkt besprechen, nämlich den, daß wir für den Betrieb der Röntgenröhren im allgemeinen nur

Sekundärströme einer Richtung

verwenden dürfen. Wir können somit entweder nur den Öffnungs- oder nur den Schließungs-Induktionsstrom benützen. Deshalb muß dafür gesorgt werden, daß der andere, d. h. der nicht zu verwendende unterdrückt wird. Wie man dies erreicht, ist S. 848 beschrieben. Im allgemeinen wird der Öffnungsstrom benützt; man muß also dann den Schließungsstrom beseitigen oder unschädlich machen. Es gibt jedoch auch einige Konstruktionen, auf welche ich noch zurückkomme, (s. S. 865), bei welchen umgekehrt der Schließungsstrom verwendet und der Öffnungsstrom unterdrückt wird.

Die erstgenannte Methode ist deshalb die näher liegende, weil die Spannung des Öffnungs-Induktionsstromes im allgemeinen größer ist als diejenige des Schließungsstromes. Dies hat seinen Grund darin, daß bei Schließung des Stromes — infolge des entgegengesetzt gerichteten Selbstinduktionsstromes in den einzelnen Primärwindungen — die Stromstärke nur langsam ansteigt, während sie bei der Öffnung, besonders wenn dafür gesorgt wird, daß der Unterbrechungsfunke schnell verschwindet, rasch auf Null fällt. Dies ist in Fig. 525 schematisch dargestellt. Zwischen a und b langsamer Anstieg, zwischen

b und c schneller Abfall. Da aber, wie oben erwähnt, die Induktionswirkung um so größer ist, je schneller die Stromänderung erfolgt, so wird die elektrische Spannung an den Enden der Sekundärwicklung bei der Schließung des Primärstromes im allgemeinen kleiner sein als bei dessen Öffnung. Die Schließungsinduktion kann also leichter unterdrückt werden als die Öffnungsinduktion. Der Verlauf der Sekundärspannung während einer Schließung und Öffnung des Primärstromes wird durch Fig. 526 angedeutet. Die Kurve zwischen d und e stellt die Schließungsinduktion, diejenige zwischen e, f und g die Öffnungsinduktion dar.

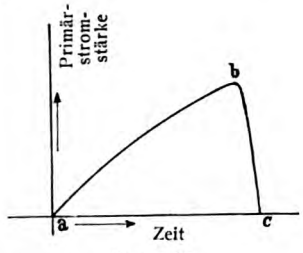


Fig. 525.
Verlauf des Primärstromes bei Schließung und Öffnung. (Langsamer Anstieg, rascher Abfall.)

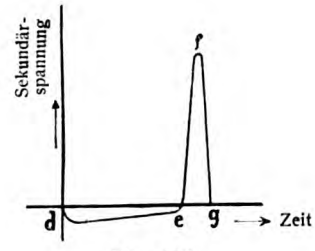


Fig. 526.
Verlauf der Sekundärspannung während einer Schließung und Öffnung des Primärstromes.

Die Unterbrechungs- und Stromverhältnisse liegen nun in Wirklichkeit nicht ganz so einfach, wie sie im Vorstehenden geschildert wurden, sondern es spielen noch verschiedene Faktoren mit, auf welche jedoch hier nicht näher eingegangen werden kann; so wirkt z. B. der in der Sekundärwicklung erzeugte Strom wieder auf den Primärstrom zurück, und dieser hierdurch geänderte Primärstrom natürlich wieder auf den Sekundärstrom. Die Rückwirkung des letzteren auf den Primärstrom ist von ähnlicher Wirkung, als ob die Windungszahl der Primärwicklung verkleinert worden wäre. Deshalb wird z. B. bei Verwendung der noch zu besprechenden elektrolytischen Unterbrecher (s. S. 826) bei Einschaltung sehr weicher Röhren — unter sonst gleichen Verhältnissen — die Unterbrechungszahl größer als bei harten, da bei ersteren die Sekundärstromstärke, und damit auch deren Rückwirkung auf den Primärstrom größer ist. Außerdem treten sowohl in der primären als in der sekundären Wicklung eigenartige elektrische Schwingungserscheinungen auf, welche sich über die einfachen Induktionserscheinungen lagern und diese unter Umständen stark beeinflussen.

Die Abbildungen 1 bis 3 von Tafel XXIX sind Reproduktionen einiger photographischer Aufnahmen von

Sekundärstromkurven.

Ich stellte solche erstmals im Jahre 1907 her (Münchner med. Wochenschr. 1907 Nr. 42, und Verh. d. Deutsch. Röntgenges. 4, S. 67 u. S. 141, 1908), um die günstigsten Verhältnisse bezüglich des Baues von Induktorien für Röntgenzwecke zu erforschen. (Siehe auch S. 837 und 853).

Zur Aufnahme der Kurven benützte ich eine Gehrcke'sche Oscillographenröhre (s. S. 977) und eine rotierende Trommel, auf welche photographisches Papier aufgespannt war; auf letzterem wurde mit Hilfe einer lichtstarken Linse das Bild des Glimmlichts der Oscillographenröhre entworfen.

Abb. 1, Taf. XXIX stellt eine für Röntgenzwecke ganz besonders günstige Kurvenform dar. Sie wurde erhalten mit Hilfe meines Universal-Induktors (s. S. 836) — bei Parallel-Schaltung der Sekundärwicklungen — unter Verwendung des Simon-Unterbrechers, der von mir angegebenen Ventilröhre und meiner Iridiumröhre. Man erkennt aus der Figur, daß die Schließungsinduktion vollständig unterdrückt ist und die einzelnen Stromimpulse sehr kurze Zeit dauern, relativ hoch sind und in zeitlich großen Abständen aufeinander folgen (s. auch Bd. I, S. 35).

Abb. 2, Taf. XXIX zeigt etwas breitere Stromkurven und zwischen je zwei solchen die oben erwähnten Schwingungen. Aus dieser Abbildung ist auch zu ersehen, daß die Schwingungen schon bestehen, ehe die Röntgenröhre anspricht, d. h. ehe die die Röntgenstrahlen erzeugenden Entladungen zustande kommen. Wahrscheinlich dienen diese schwachen Ströme dazu, die in der Röntgenröhre vorhandenen Gasreste zu ionisieren und damit die gewünschte Entladung zu ermöglichen.

Abb. 3, Taf. XXIX gibt eine Serie von Sekundärstromkurven, die ich 1908 gelegentlich einer Thorax-Momentaufnahme erhalten habe. Die obenerwähnte rotierende Trommel hatte bei dieser Aufnahme eine Umfangsgeschwindigkeit von 1400 mm per Sekunde, sodaß 1 mm auf dem photographischen Papier $^1/_{1400}$ Sekunde entspricht. Da eine der 14 Stromkurven ca. 1,8 mm breit ist, folgt, daß ein Stromimpuls etwa 0,00128 Sekunden dauerte. Die Zeit, welche zwischen 2 Stromimpulsen verstrich, entspricht in der Kurve ca. 3 mm, also $3 : 1400 =$ ca. 0,00214 Sekunde. Da die Aufnahme mit 14 Stromimpulsen gemacht wurde, ergibt sich eine Gesamtexpositionszeit von ungefähr $^1/_{20}$ Sekunde; zieht man hiervon das stromlose Intervall ab, so bleibt eine effektive Expositionszeit von etwa $^1/_{50}$ Sekunde.

Im Jahre 1910 habe ich die Expositionszeit noch weiter vermindern können, bis auf $^1/_{3600}$ Sekunde, indem ich mit einem einzigen Stromimpuls arbeitete (s. S. 847).

Nach meinen Kurven-Untersuchungen des durch die Röntgen-

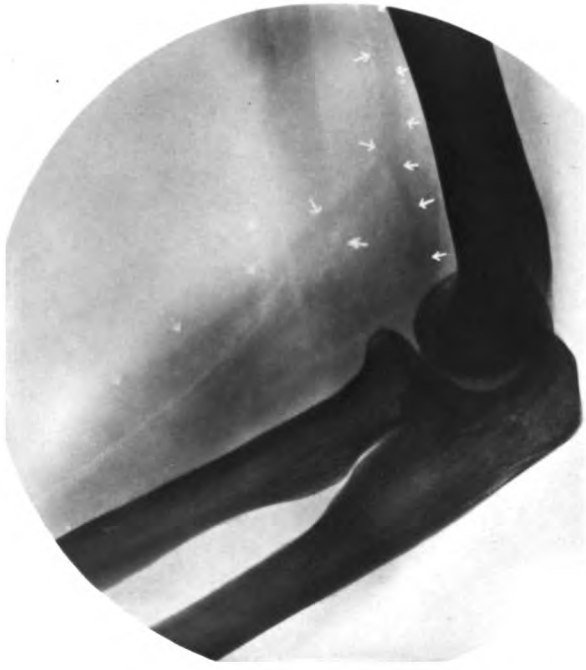


Fig. 4. Weichteil-Aufnahme des Ellbogens mittels Präzisions-Röhre (Normale Blutgefäße)

Fig. 5. Plastisches Röntgen-Bild der Hand nach Alexander

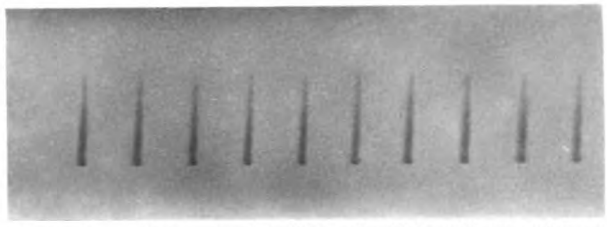


Fig. 1. Besonders günstige Form der Sekundärstromkurve.

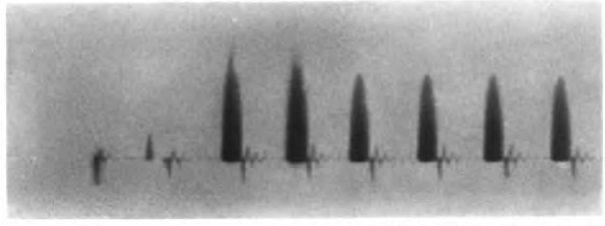


Fig. 2. Sekundärstromkurve mit Schwingungen vor Beginn der Entladung und zwischen den einzelnen Strom-Impulsen.

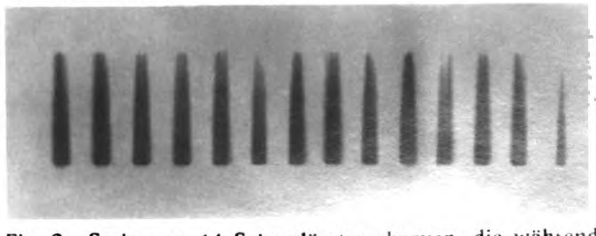


Fig. 3. Serie von 14 Sekundärstromkurven, die während einer Aufnahme von 1/20 Sekunden Dauer erhalten wurden.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

röhre fließenden Stromes haben Wertheimer, Kröncke, Déguisne, Wehnelt u. A. interessante Versuche über Strom- bzw. Spannungskurven von Röntgenröhren veröffentlicht, auf welche hier jedoch nur hingewiesen werden kann (s. Literaturverzeichnis am Schluß des Kapitels).

Nach dieser Zwischenbetrachtung komme ich wieder zur Besprechung der drei oben angeführten Bedingungen zurück, welche zu erfüllen sind, um sehr hochgespannten elektrischen Strom mittels des Induktoriums zu erzeugen.

1. Die Sekundärwicklung soll sehr viele Windungen besitzen.

Aus diesem Grunde darf der Durchmesser des verwendeten Drahtes der Sekundärspule nur klein sein, da andernfalls der Wicklungsraum der letzteren unverhältnismäßig große Dimensionen annehmen müßte. So besitzt beispielsweise die Sekundäre eines größeren Induktoriums 50000 bis 100000 Windungen von dünnem Kupferdraht, dessen Durchmesser je nach Größe des Apparates und je nach dessen Herkunft zwischen 0,1 und 0,3 mm schwankt.

Zwischen den einzelnen Windungen der Sekundärspule bestehen relativ große elektrische Spannungen, die sich natürlich nicht ausgleichen dürfen, sofern an den Enden der Spule eine große Spannungsdifferenz bestehen soll. Aus diesem Grunde müssen die einzelnen Windungen sehr gut voneinander isoliert sein. Man erreicht dies dadurch, daß man den Draht mit einem guten Isoliermaterial umgibt, z. B. mit Seide umspinnt, die mit Paraffin oder einem Isolierlack getränkt wird. Außerdem sucht man — gleichfalls um einen Ausgleich der elektrischen Spannung zwischen einzelnen Windungen zu vermeiden — letztere so anzuordnen, daß Drähte von sehr verschieden hoher elektrischer Spannung möglichst weit auseinander zu liegen kommen. Deshalb setzt man die Sekundärspule aus einer großen

Fig. 527.
Sekundärdraht-Scheibe.

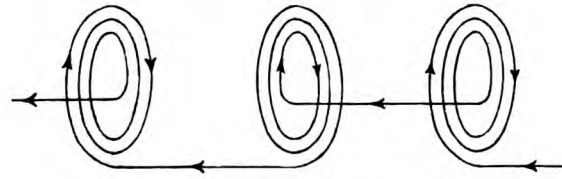


Fig. 528.
Schema der Verbindung aufeinanderfolgender Sekundärdraht-Scheiben.

Zahl von schmalen Scheiben zusammen, die aus übereinander gelagerten Drahtwindungen bestehen (Fig. 527).

Anfang und Ende dieser Scheiben werden in der aus Fig. 528 ersichtlichen Weise miteinander verbunden, so daß alle Windungen der Sekundärspule in gleichem Sinne vom Strom durchflossen werden. Zwischen je zwei Drahtscheiben befindet sich eine Scheibe aus gutem Isoliermaterial, um den Stromübergang von Drähten einer Scheibe zu denjenigen der benachbarten unmöglich zu machen.

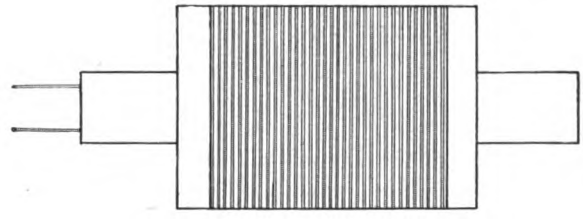


Fig. 529.
Sekundärwicklung auf Isolierrohr.

Eine sehr große Zahl solcher Drahtscheiben (bei großen Induktorien mehr als 100) miteinander vereinigt und gemeinschaftlich mit einer Isoliermasse umgossen, bildet die Sekundärwicklung (Fig. 529).

2. Die Primärwicklung soll von sehr starken Strömen durchflossen werden.

Um dies zu ermöglichen, darf sie im Gegensatz zur Sekundärspule nur relativ wenig Windungen besitzen, damit ihr Widerstand und ihr Selbstinduktionskoëffizient nicht zu groß werden. Deshalb beträgt die Windungszahl der Primärwicklung eines großen Induktors nur etwa den 50sten bis 500sten Teil derjenigen der Sekundärwicklung. Man nennt dieses Verhältnis der Windungszahlen von Primär- und Sekundär-Wicklung das Übersetzungs-Verhältnis des Induktors, weil die elektrischen Spannungsdifferenzen an den Primär- und Sekundärklemmen im gleichen Verhältnis zueinander stehen wie die Windungszahlen. Die Drahtdicke der Primärwicklung schwankt je nach Größe und Herkunft der Apparate zwischen 1 und 3 mm.

Natürlich kann man die primäre Stromstärke nicht beliebig vergrößern, sondern man ist an bestimmte, von der Konstruktion des verwendeten Apparates abhängige Grenzen gebunden; diese werden gesteckt, einerseits durch die vom Strom hervorgerufene Erwärmung des Primärdrahtes, andererseits durch die noch zu besprechende Unterbrechungsvorrichtung, welche bei zu großen Stromstärken nicht mehr einwandfrei funktioniert.

Wie oben schon erwähnt, wird die Induktionswirkung bedeutend

erhöht, wenn man im Innern der Primärwicklung einen „Eisenkern“ anbringt. Würde man diesen aus massivem Eisen herstellen, so entstünden in ihm sogenannte „Wirbelströme“, welche ihn nicht nur sehr stark erhitzen, sondern auch große Energieverluste verursachen würden. Daß solche „Wirbelströme“ in massivem Eisen auftreten, kann man sich leicht vorstellen, wenn man sich den Eisenkern aus unendlich vielen Ringen zusammengesetzt denkt, die alle in sich geschlossen sind und deren Ebenen senkrecht zur Achse des Kernes liegen. In jedem einzelnen solchen Ring würde natürlich ein Induktionsstrom erzeugt, der bekanntlich den Ring erwärmt.

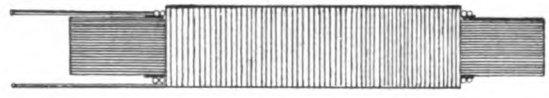


Fig. 530.
Eisenkern mit Primärwicklung.

Aus diesem Grunde stellt man den Eisenkern aus einer sehr großen Zahl dünner, voneinander isolierter Eisendrähte her, die parallel zur Achse des Kernes verlaufen, oder aus dünnen, voneinander isolierten Eisenblechen (Fig. 530).

Man hat versucht, den Eisenkern der Induktorien ähnlich wie bei den Wechselstrom-Transformatoren magnetisch zu schließen (Fig. 531),

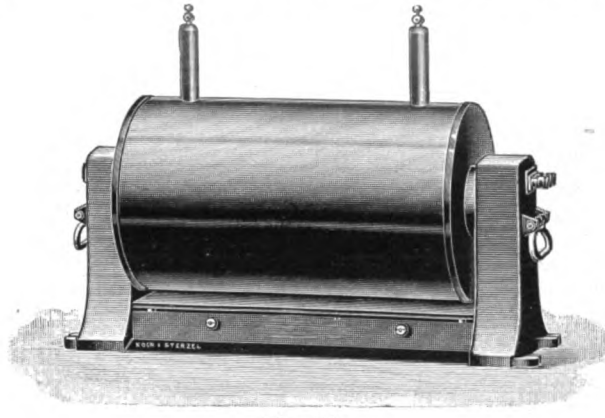


Fig. 531.
Funkentransformator mit geschlossenem Eisenkern.

um den magnetischen Widerstand zu verringern; diese Anordnung hat sich jedoch bei Unterbrecher-Apparaten für den praktischen Röntgenbetrieb nicht bewährt. Dagegen kommen bei den noch zu besprechenden unterbrecherlosen Apparaten solche Wechselstrom-Transformatoren mit geschlossenem Eisenkern vielfach in Verwendung.

3. Das Entstehen bzw. Verschwinden des Primärstromes soll möglichst schnell erfolgen.

Zu diesem Zwecke verwendet man besondere Apparate, die

Unterbrecher,

von deren Güte die Wirksamkeit der gesamten Apparatur in hohem Grade abhängt. Der einfachste aber auch unvollkommenste Unterbrecher ist der

Platinkontakt-Unterbrecher,

der in seiner ursprünglichen Form als Neefscher Hammer allgemein bekannt ist. (Fig. 532.) Zwei Metallflächen a und b — wegen des hohen Schmelzpunktes nimmt man gewöhnlich Platin oder noch besser Platin-Iridium (auch Wolfram wird hierzu verwendet) — werden miteinander in Berührung gebracht und dadurch wieder voneinander getrennt, daß der durch den geschlossenen Stromkreis magnetisierte Eisenkern E einen Anker A anzieht. Letzterer befindet sich an einer Plattfeder F, welche die eine Kontaktfläche a trägt. Sobald der Strom unterbrochen ist, läßt der Eisenkern den Anker wieder los, die Feder schwingt zurück, der Kontakt wird wieder hergestellt und das Spiel beginnt von neuem. Man hat, damit die Unterbrechung des Stromes möglichst schnell erfolgt, eine Reihe zum Teil sehr sinnreicher Abänderungen des einfachen Neefschen Hammers ausgedacht, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, weil diese Unterbrecherart für die Röntgentechnik heute fast keine Bedeutung mehr besitzt.

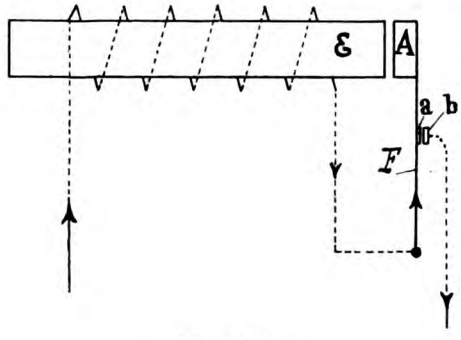


Fig. 532.
Stromverlauf des Neefschen Hammers.

Der Unterbrechungsfunke, welcher sich an den Platinkontakten beim Öffnen des Stromes (infolge des Extrastromes) bildet, leitet den Strom sehr gut; daher dauert der Vorgang der einzelnen Unterbrechung relativ lang, nämlich so lang, bis der Unterbrechungsfunke vollkommen verschwunden ist, und damit wird, wie schon erwähnt, die Induktionswirkung eine geringe. Fizeau hat deshalb schon im Jahre 1853 an die Unterbrechungsstelle einen

Kondensator

angeschlossen, der sich während der Stromunterbrechung lädt und dadurch die Dauer des Unterbrechungsfunkens bedeutend verkürzt,

während der Stromschließung jedoch sich wieder entlädt. Hierdurch wird die Dauer der Unterbrechung wesentlich verringert und damit die Induktionswirkung erhöht.

Der Kondensator ist ebenso wie für den Platin- auch für die Quecksilber-Unterbrecher (s. u.) anzuwenden, während er für die elektrolytischen nicht nötig ist (s. S. 828).

Der für Induktorien verwendete Kondensator (Fig. 533) besteht im allgemeinen aus einer großen Zahl von Metallfolien aus Zinn oder Aluminium (durch punktierte Linien dargestellt), welche durch Zwischenlagen von paraffiniertem Papier, Glimmer oder sonstigen guten Isola-

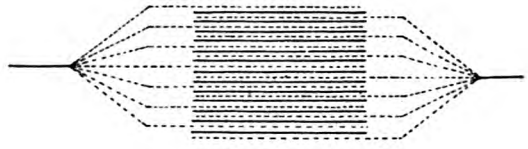


Fig. 533.
Schema des Kondensators.

toren (durch ausgezogene Linien gekennzeichnet) voneinander getrennt sind. Zwei aufeinander folgende Folien führen immer je zu einem der beiden Kontakte des Unterbrechers, sodaß also je die 1., 3., 5. etc. und die 2., 4., 6. etc. Folie miteinander verbunden sind. Die Wirkung des Kondensators hängt von seiner Kapazität ab; sie ist am günstigsten bei einer ganz bestimmten Kapazität, die je nach dem Induktor, dem Unterbrecher und der Primär-Stromstärke verschieden zu wählen ist. Der Kondensator muß also mit dem Induktor und Unterbrecher abgestimmt sein, wenn er die Funkenbildung bestmöglich verringern und damit die Induktionswirkung möglichst erhöhen soll.

Eine wesentliche Verbesserung der Unterbrecher bildeten die

Quecksilber-Unterbrecher,

die erst als Quecksilber-Tauch-Unterbrecher, später als Quecksilber-Gleit-, Quecksilber-Strahl- und Quecksilber-Zentrifugal-Unterbrecher hergestellt wurden.

Fig. 534 stellt eine der ersten Ausführungsformen des „Quecksilber-Tauch-Unterbrechers" für Röntgenzwecke dar. Ein Metallstift „C" wird mittels eines kleinen Elektromotors abwechselnd in Quecksilber eingetaucht (Stromschließung) und wieder aus dem Quecksilber gezogen (Stromöffnung), während der feststehende Draht „D" dauernd in das Quecksilber taucht und diesem den Strom zuführt.

Durch eine schraubenförmige Fläche und den feststellbaren Hebel „A“ kann das Gefäß mehr oder weniger gehoben werden, wodurch die Eintauchtiefe von „C“ und damit die Stromstärke in einfacher Weise zu verändern ist.

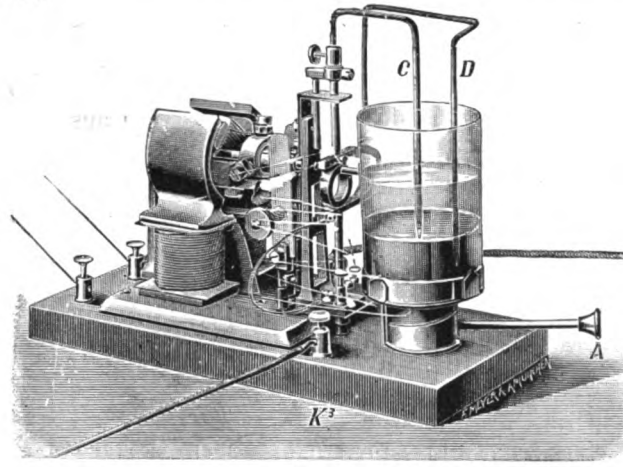


Fig 534.
Einfacher Quecksilber-Tauchunterbrecher.

Zur Verringerung des Unterbrechungsfunkens wird über das Quecksilber Petroleum oder Wasser geschichtet; Alkohol ist wegen der Feuersgefahr nicht zu empfehlen.

Bei dem „Quecksilber-Gleit-Unterbrecher“ dient das Quecksilber vorwiegend zum Amalgamieren von zwei den Kontakt bildenden Metallflächen, von welchen die eine gewöhnlich aus einer Kupferbürste, die andere aus einem Segment eines rotierenden Zylinders besteht, dessen übriger Teil aus Isoliermaterial gebildet wird. Durch das der Kontaktfläche dauernd zugeführte Quecksilber wird eine innige metallische Berührung der aufeinander gleitenden Flächen gewährleistet. Als Funkenlösch-Flüssigkeit wird hier gewöhnlich Petroleum genommen, mit welchem das den Gleitkontakt enthaltende Gefäß gefüllt ist. Fig. 535 zeigt eine Ausführungsform von Reiniger.

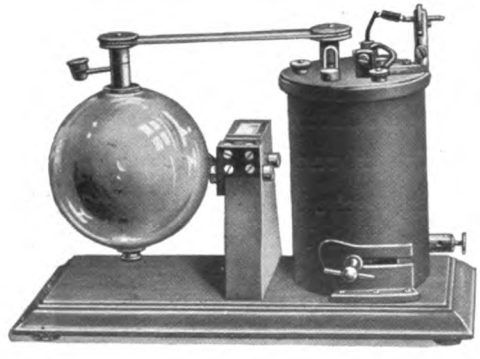


Fig. 535.
Quecksilber-Gleitunterbrecher.

Da sich die Bürsten im Laufe der Zeit abnützen und ausgewechselt werden müssen, außerdem auch die Stromstärke nicht sehr groß sein darf, fand dieser Unterbrecher keine größere Anwendung.

Der „Quecksilber-Strahl-“ oder „Turbinen-Unterbrecher“, der zuerst wohl von dem bekannten amerikanischen Elektriker Tesla angegeben wurde, ist in Deutschland in der im Jahre 1898 von Boas konstruierten und von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft ausgeführten Form sehr verbreitet gewesen (Fig. 536 u. 537).

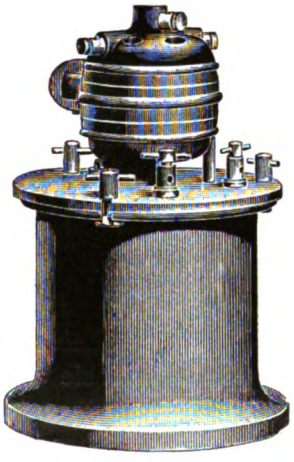


Fig. 536.
Quecksilber-Strahlunterbrecher.

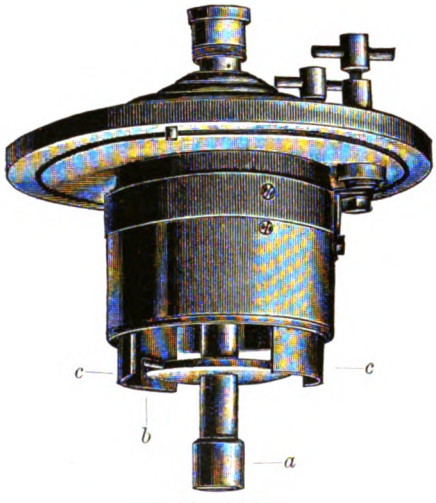


Fig. 537.
Quecksilber-Strahlunterbrecher

Mit Hilfe einer kleinen Turbine a wird das am Boden eines Eisengefäßes befindliche Quecksilber gehoben und durch eine rotierende Düse b gepreßt, aus welcher es in feinem Strahl ausgespritzt wird. Letzterer trifft bei jeder Drehung ein- oder zweimal ein metallisches Segment c, das mit dem einen Pol der Stromzuleitung verbunden ist, während das Quecksilber mit dem andern Pol in Kontakt steht. Sobald die Düse dem Segment gegenüber liegt, ist der Strom also geschlossen. Bei dem Levyschen Quecksilber-Strahl-Unterbrecher rotiert umgekehrt das metallische Segment, während die den Quecksilberstrahl liefernde Düse stillsteht. Bei all diesen Unterbrechern kann die Stromstärke leicht dadurch abgestuft werden, daß durch Drehung einer Schraube entweder ein keilförmiges Segment und die Düse so gegeneinander verstellt werden, daß der Quecksilberstrahl längere oder kürzere Zeit mit dem Segment in Berührung bleibt, oder daß die Zahl der Ausströmdüsen oder der Segmente vergrößert oder vermindert wird. —

Auch bei den Quecksilber-Strahlunterbrechern wird als funkenlöschende Flüssigkeit gewöhnlich Petroleum verwendet.

So gut sich auch dieser Unterbrecher im Vergleich zu den früher verwendeten Platin- und Quecksilber-Tauchunterbrechern bewährt hat, besitzt er doch einen großen Nachteil, nämlich den der Verschlammung des Quecksilbers, die ganz besonders schnell bei Verwendung größerer Stromstärken und bei länger dauerndem Betrieb auftritt. Um diesen Nachteil zu beseitigen, hat man an Stelle von Petroleum ein Gas, nämlich Wasserstoff oder Leuchtgas verwendet, mit welchem das luftdicht verschlossene Unterbrechergefäß gefüllt wird. Dieser „Gasunterbrecher" hat sich sehr gut bewährt und hat große Verbreitung gefunden.

Da die einzelne Unterbrechung beim Gasunterbrecher eine viel raschere ist als bei den mit Petroleum gefüllten Unterbrechern, und da außerdem bei ihm eine Verunreinigung des Quecksilbers nur in geringerem Grade eintritt, bedeutet der Gasunterbrecher eine wesentliche Verbesserung des gewöhnlichen Strahlunterbrechers. Die Reinigung des Gasunterbrechers ist allerdings — besonders bei Verwendung von Leuchtgas — auch von Zeit zu Zeit vorzunehmen, jedoch ist sie viel einfacher und reinlicher und geschieht, indem man das Quecksilber filtriert und die Düsen mittels eines Drahtes säubert. Das Leuchtgas scheidet nämlich im Laufe der Zeit Kohlenstoff aus, der öfters entfernt werden muß. Die Filtration wird am einfachsten mittels eines Trichters ausgeführt, dessen Rohr am Ende mit Wildleder umbunden ist, in das mit einer feinen Nadel einige Löcher gestochen werden. Durch die letzteren dringt das Quecksilber gereinigt durch.

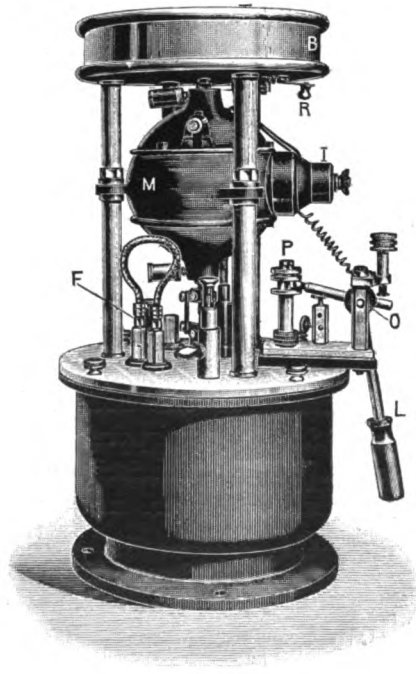


Fig. 538.
Gas-Unterbrecher nach Ropiquet.

Fig. 538 u. 539 zeigen einen ausgezeichneten Gasunterbrecher, der von Ropiquet (Amiens), konstruiert und von der Firma Roycourt, Paris hergestellt wurde.

Es bedeutet „M" (Fig. 538) den Antriebsmotor, der mittels des Schalters „I" ein- und ausgeschaltet werden kann. Der Deckel des

Unterbrechergefäßes kann mit Hilfe eines Gummiringes vollkommen gasdicht abgeschlossen werden. „L" ist ein um „O" drehbarer Hebel, welcher die durch eine Stopfbüchse abgedichtete Stange „P" in Richtung ihrer Achse zu verschieben gestattet. An der Stange „P" befindet sich innerhalb des Unterbrechergefäßes ein schräg verlaufendes Kontaktsegment S_2, S_3 (Fig. 539), gegen welches der Quecksilberstrahl gerichtet ist. Je nachdem dieses Segment höher oder tiefer steht, wird die Stromschlußzeit und damit die Stromstärke verändert. „F" ist ein Verbindungskabel, das dazu dient, entweder ein oder zwei Segmentenpaare verwenden zu können, so daß während einer Umdrehung entweder zwei- oder viermal Stromschluß und Unterbrechung stattfinden.

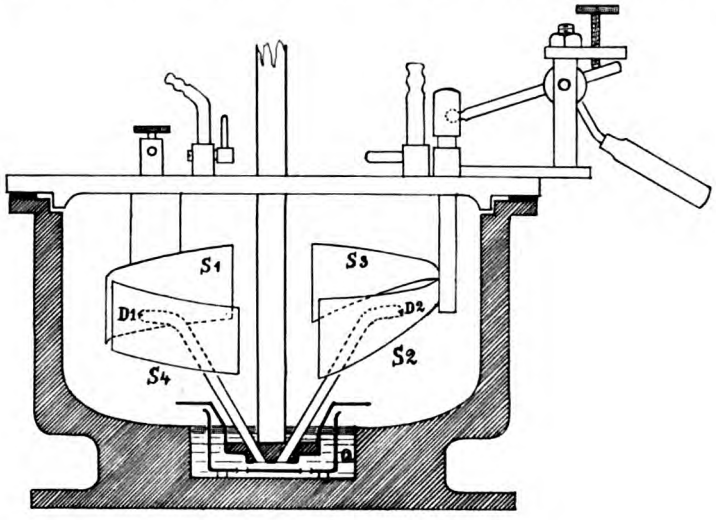


Fig. 539.
Unterbrechergefäß des Gas-Unterbrechers nach Ropiquet.

Der über dem Motor befindliche Kondensator „B" und die Reguliertkurbel „R" für einen Vorschaltwiderstand können natürlich auch statt am Unterbrecher an der Schalttafel des Apparates angebracht sein.

Ganz ähnlich gebaut wie der Ropiquet'sche Unterbrecher ist der unter dem Namen „Apex"-Unterbrecher vielfach verwendete Gasunterbrecher der Firma Reiniger. Die mit diesem betriebenen Induktorien mittlerer Größe fanden als „Apex"-Apparatur große Verbreitung.

Fig. 540 zeigt eine neue Ausführungsform des Gasunterbrechers, nämlich den „Konstant-Unterbrecher" (Reiniger), welcher statt der bisher verwendeten rohrförmigen, engen Strahldüsen D_1, D_2 (Fig. 539) von ca. 1,5 mm Durchmesser schräg nach oben gerichtete, offene Metallrinnen von einem lichten Durchmesser von 8 mm besitzt. Hier-

durch wird eine große Quecksilbermenge gegen die horizontal angeordneten Kontaktsegmente geschleudert, so daß eine gute und gleichmäßige Kontaktgebung gewährleistet ist. Ein Verstopfen der Düsen kann hier natürlich nicht vorkommen; außerdem ist der Widerstand des Unterbrechers ein sehr geringer. Dieser Konstant-Unterbrecher läßt sich mit Spannungen bis zu 440 Volt direkt betreiben. Er kann große Stromstärken unterbrechen und bedarf nur geringer Wartung und nur selten der Reinigung. Seine äußere Form ist aus Fig. 639, S. 913 ersichtlich.

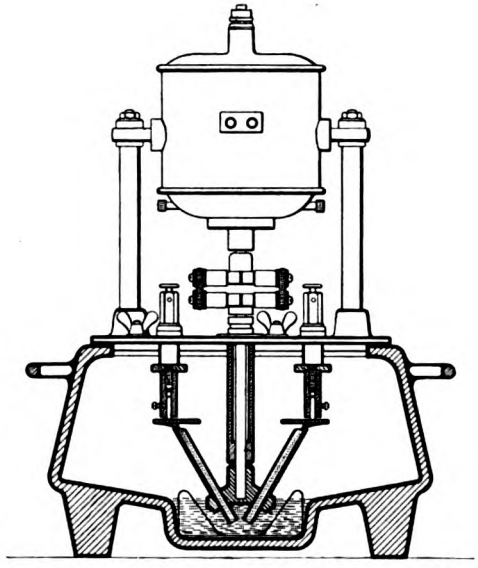


Fig. 540.
Konstant-Unterbrecher.

Fig. 541.
Gasunterbrecher mit Nadelschalter.

Von verschiedenen Firmen wurde die Motorachse des Gasunterbrechers durch ein Isolierstück verlängert und an dessen Ende ein Hochspannungsnadelschalter angebracht (Fig. 541, Siemens), der den Sekundärstrom während des Verlaufes der Öffnungsinduktion schließt, während des Verlaufes der Schließungsinduktion dagegen offen hält, so daß die letztere nicht in die Röhre gelangen kann. Die an dem Nadelschalter auftretenden Funken erzeugen jedoch elektrische Schwingungen, welche für den Hochspannungs-Apparat und die Röntgenröhre unter Umständen von Nachteil sein können. Man hat deshalb für die Unterdrückung der Schließungsinduktion den Ventilröhren im allgemeinen wieder den Vorzug gegeben.

Bei dem „Quecksilber-Zentrifugal-Unterbrecher", welcher in verschiedenen Konstruktionen als „Rotax-", „Rekord-", „Deviations-", „Tornado-" etc. Unterbrecher bekannt ist, wird die Oberfläche des Quecksilbers dadurch stets blank erhalten, daß das Unterbrechergefäß durch einen kleinen Elektromotor in schnelle Rotation versetzt wird. Infolge der Zentrifugalkraft sammelt sich das Quecksilber an den Stellen des Gefäßes an, welche den größten Durchmesser besitzen (in der schematischen Fig. 542 schwarz dargestellt). In den

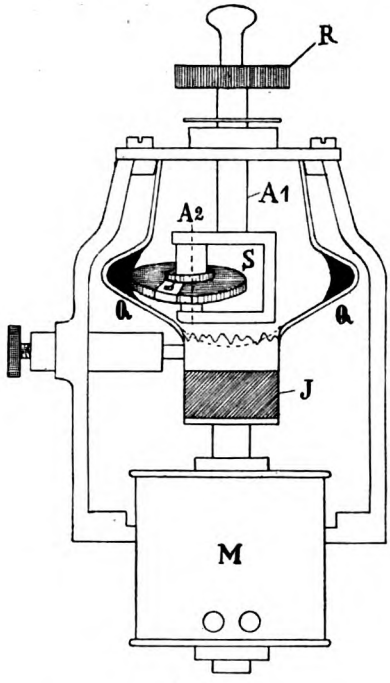


Fig. 542.
Schematische Darstellung eines Quecksilber-Zentrifugal-Unterbrechers.

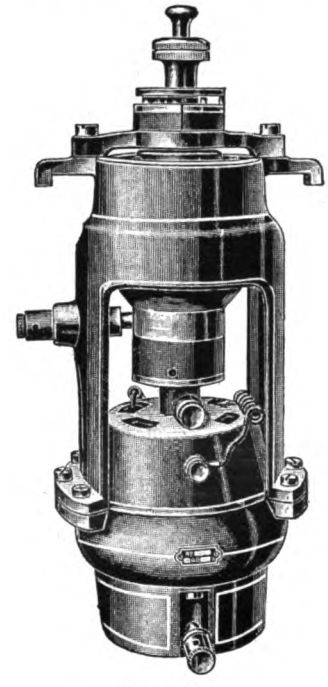


Fig. 543.
Äußere Ansicht des Quecksilber-Zentrifugal-Unterbrechers „Rotax".

hierdurch erzeugten Quecksilberring QQ taucht ein Rädchen S, welches durch das rotierende Quecksilber um seine Achse gedreht (Rotax) oder auch durch einen eigenen Mechanismus in Umdrehung versetzt wird (Rekord). Dieses Rädchen, dessen Achse A_2 die eine Stromzuführung bildet, während die andere durch das metallische Gefäß direkt mit dem Quecksilber in Verbindung steht, ist zum Teil aus Isoliermaterial S zum Teil aus Metall s hergestellt. Sobald der metallische Teil s mit dem Quecksilber Q in Berührung kommt, ist der Strom geschlossen, und zwar so lange als das Metall in das Quecksilber eintaucht. Je nachdem man die Achse des Rädchens mehr oder

weniger seitlich verschiebt, was durch Drehen der Scheibe R bewerkstelligt werden kann, wird die Dauer des Stromschlusses und damit die Stromstärke größer oder geringer. Andererseits ist durch Veränderung der Geschwindigkeit, mit welcher das Rädchen S sich dreht, die Unterbrechungszahl zu verändern, was bei dem Rotax-Unterbrecher in einfacher Weise durch Regulierung der Tourenzahl des Motors M geschieht.

Auch der Quecksilber-Zentrifugal-Unterbrecher ist wie der Quecksilberstrahl-Unterbrecher zuerst von Tesla angegeben worden. — Fig. 543 zeigt die äußere Form der in Deutschland verbreitetsten Ausführung, des sog. „Rotax-Unterbrecher“ (Sanitas), dessen innere Konstruktion Fig. 542 darstellt.

Elektrolytische Unterbrecher.

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Unterbrechern findet bei diesen die Unterbrechung nicht zwischen Metallflächen statt, sondern innerhalb einer elektrolytisch leitenden Flüssigkeit, im allgemeinen in verdünnter Schwefelsäure.

Es gibt zwei Arten des elektrolytischen Unterbrechers: den „Wehneltschen“ und den „Simon-“ bzw. „Caldwellschen“.

Der Wehnelt-Unterbrecher (Fig. 544 u. 545) besteht aus einem Ge-

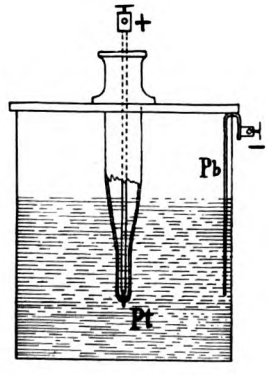


Fig. 544.
Einfacher Wehnelt-Unterbrecher.

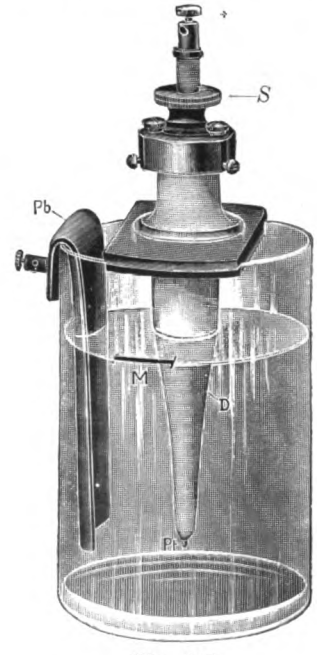


Fig. 545.
Regulierbarer Wehnelt-Unterbrecher.

fäß mit verdünnter Schwefelsäure, in welche zwei Elektroden tauchen. Die den elektrischen Strom zuführende (positive) Elektrode wird durch

eine sehr kleine Fläche Pt gebildet (Platinstift), die den Strom ableitende (negative) aus einer großen Bleiplatte Pb. (Sowohl Platin wie Blei werden bekanntlich von verdünnter Schwefelsäure nicht angegriffen.)

Der Simon- oder Caldwell-Unterbrecher (Fig. 546 und 547), welcher ungefähr gleichzeitig von Simon, Göttingen und Caldwell, New-York erfunden wurde, besitzt zwei große Bleielektroden Pb, die durch ein Diaphragma D (Fig. 547) aus Isoliermaterial voneinander getrennt sind. Im Diaphragma befindet sich eine kleine Öffnung L, durch welche der elektrische Strom fließen muß. Hierbei ist es — im Gegensatz zum Wehnelt-Unterbrecher — gleichgültig, welche der beiden Elektroden die positive ist. Beim Wehnelt-Unterbrecher muß immer die kleine Elektrode mit dem Plus-Pol verbunden sein, da sie sich andernfalls (als negative Elektrode) bis zum Schmelzen erhitzen würde.

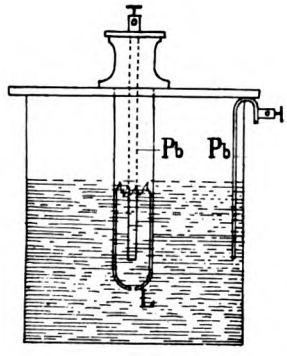


Fig. 546.
Einfacher Simon-Unterbrecher.

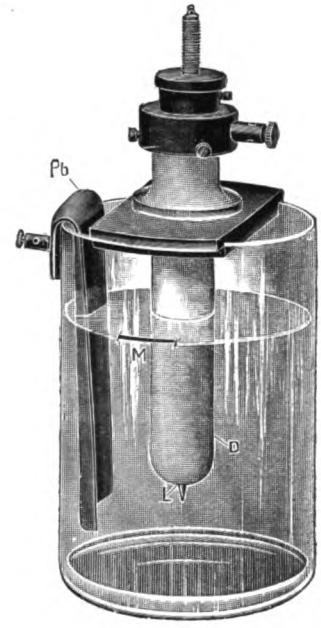


Fig. 547.
Regulierbarer Simon-Unterbrecher.

Der physikalische Vorgang der Unterbrechung beim elektrolytischen Unterbrecher ist von Wehnelt, Simon und Caldwell, außerdem aber von einer Reihe anderer Physiker experimentell erforscht worden. Hier sei besonders auf einige, auch die einschlägige Literatur enthaltende Arbeiten von Ludewig hingewiesen (s. Literaturverzeichnis). Nach Ludewig ist beim Simon-Unterbrecher die einzelne Unterbrechung verursacht durch eine rein thermische Erscheinung, d. h. durch Auftreten von Dampfblasen, beim Wehneltschen dagegen sowohl durch thermische als elektrolytische Vorgänge.

Die Unterbrechung wird beim Wehnelt-Unterbrecher dadurch hervorgerufen, daß an der kleinen Fläche des in die verdünnte Schwefelsäure tauchenden Platinstiftes — infolge der großen Stromdichte — sowohl eine starke Verdampfung, als auch elektrolytische Zersetzung der Flüssigkeit auftritt, wodurch der Platinstift mit einer Dampf- bzw. Gashülle umgeben wird. Diese bietet dem Primärstrom einen nahezu unendlich großen Widerstand, so daß er so lange unterbrochen ist, als diese Gas- bzw. Dampfhülle besteht. Beim Simon-Unterbrecher entsteht an der kleinen Öffnung, durch welche der gesamte Strom fließen muß, eine Dampfblase, welche gleichfalls eine plötzliche Unterbrechung des Stromes verursacht.

Da die erwähnte Dampf- bzw. Gashülle außerordentlich schnell auftritt, so erfolgt die Unterbrechung ganz plötzlich, was bekanntlich zur Erzeugung eines starken Öffnungs-Induktionsstromes von größter Wichtigkeit ist. Durch die schnelle Unterbrechung wird aber, wie oben schon besprochen, nicht nur in der sekundären Wicklung, sondern auch in der primären selbst, eine relativ hohe elektrische Spannungsdifferenz an der Unterbrechungsstelle hervorgerufen. Diese Spannungsdifferenz wird (wenn die Windungszahl der Primärspule genügend groß ist) so stark, daß ein Funke auftritt, welcher die Dampf- bzw. Gashülle durchschlägt, diese zur Explosion bringt und damit wieder eine Verbindung der beiden Unterbrecherpole — eine Schließung des Stromes — verursacht. Sobald aber der Strom wieder geschlossen ist, entsteht auch sofort wieder die Gasblase usw.

Der beschriebene Vorgang erfolgt außerordentlich schnell, sodaß unter Umständen innerhalb einer Sekunde einige tausend Stromunterbrechungen und Stromschließungen erfolgen können. Jede einzelne dieser Unterbrechungen geschieht ganz plötzlich und sehr vollkommen, weshalb die Induktionswirkung eine höchst intensive ist. Im Gegensatz zu den Platinkontakt- und Quecksilber-Unterbrechern ist bei den elektrolytischen Unterbrechern ein Kondensator unnötig.

Der Grund hierfür liegt darin, daß bei ersteren der Unterbrechungsfunke die Dauer der Unterbrechung bedeutend vergrößern würde, wenn kein Kondensator Anwendung fände; bei letzteren dagegen ist der Unterbrechungsfunke zu dem Unterbrechungsvorgang notwendig, da er die Gas- bzw. Dampfblase zur Explosion bringt. Eine Unterdrückung des Unterbrechungsfunkens durch einen Kondensator könnte daher von Nachteil sein.

Der Elektrolyt-Unterbrecher dürfte, was die Güte der einzelnen Unterbrechung betrifft, der vollkommenste sein.

Über die

Bedeutung der Unterbrechungszahl

habe ich bereits im Jahre 1896 in einem Vortrag „Über die Erzeugung intensiver Röntgenscher Strahlen" (Verhandl. d. Ges. deutsch. Naturforscher und Ärzte, Frankfurt a. M. 1896, Phys. Sektion) folgendes mitgeteilt:

„Die günstigsten Resultate, sowohl in bezug auf Intensität der erzielten Röntgenstrahlen, als auch auf Einfachheit des Apparates geben nach meinen Erfahrungen die Ströme großer Induktorien. Bei Verwendung von solchen ist die Frage von Bedeutung, ob mit Vorteil schnelle oder langsame Unterbrechungen anzuwenden sind. Die Entscheidung dieser Frage hängt davon ab, für welchen Zweck die Strahlen benutzt werden sollen. Soll beispielsweise mit Hilfe von fluoreszierenden Schirmen beobachtet werden, so verdienen die schnellen Unterbrechungen den Vorzug, da das Bild auf dem Schirm ein ruhiges sein soll. Für photographische Zwecke dagegen ist im allgemeinen eine nicht zu schnelle Unterbrechung vorzuziehen; es erscheint diese Behauptung im ersten Augenblick unwahrscheinlich. Je schneller die Unterbrechungen sind, desto länger wird bei gleicher Expositionszeit die Platte belichtet, und wenn nur dieser Punkt zu berücksichtigen wäre, würde sicher eine schnelle Unterbrechung den Vorzug verdienen. Es darf jedoch ein Umstand nicht übersehen werden. Bekanntlich geben die Vacuumröhren unter sonst gleichen Verhältnissen um so intensivere Röntgenstrahlen, je höher die Spannung des elektrischen Stromes ist. Nun erwärmt sich aber die Stelle, auf welche die Kathodenstrahlen fallen, um so stärker, je größer die aufgewandte Energie während einer Entladung ist, und je häufiger die Entladungen aufeinanderfolgen. Bei sehr schnellen Unterbrechungen muß also, um eine gewisse zulässige Erwärmung nicht zu überschreiten, die Spannung des Stromes und damit die Intensität der Röntgenschen Strahlen eine wesentlich kleinere sein als bei langsameren Unterbrechungen. Bei diesen kann also sehr wohl das Produkt aus Intensität und Zeitdauer der Strahlung ein größeres werden, als bei schneller Unterbrechung. Hieraus folgt, daß es für jede Vacuumröhre eine bestimmte Unterbrechungszahl gibt, welche für photographische Zwecke die günstigsten Resultate liefert."

Diese vor mehr als 25 Jahren gemachten Mitteilungen treffen auch heute noch zu. Sie sind in der Zwischenzeit leider häufig nicht genügend berücksichtigt worden. (Siehe auch J. Rosenthal, „Große oder kleine Röntgen-Apparate?", Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. Bd. VII, S. 339, 1904.)

Während bei den Quecksilber-Unterbrechern die Unterbrechungszahl durch Veränderung der Geschwindigkeit des Motors größer

oder kleiner gewählt werden kann, ist sie beim elektrolytischen Unterbrecher nicht so einfach zu verändern. Die Zahl der Unterbrechungen hängt bei diesem wesentlich ab:

1. von der Größe der freien Platinfläche (Wehnelt) bzw. der Größe des Loches im Diaphragma (Simon) — [sie ist um so größer, je kleiner diese Fläche bzw. je kleiner das Loch ist] —,
2. von der elektrischen Spannung der Stromquelle, welche die Primär-Wicklung speist — [sie ist um so größer, je größer diese Spannung ist] —,
3. von der Selbstinduktion der Primärspule, also für eine bestimmte Drahtdicke von der Windungszahl im primären Stromkreis — [sie ist um so größer, je kleiner die Windungszahl ist] und
4. auch von der Stärke des in der Sekundär-Wicklung fließenden Stromes, da dieser auf die Primär-Wicklung zurückwirkt (s. S. 813) und den Primär-Strom beeinflußt — [sie ist um so größer, je größer die Sekundär-Stromstärke ist].

Man hat daher beim elektrolytischen Unterbrecher mannigfache Möglichkeiten, die Unterbrechungszahl zu ändern. Praktisch besonders wichtig ist die Vergrößerung oder Verkleinerung der freien Platin-Oberfläche beim Wehnelt-Unterbrecher bzw. des Loches beim Simonschen. Beim Wehnelt-Unterbrecher (Fig. 545) wird dies beispielsweise dadurch erzielt, daß man den Platinstift mittels einer Schraube S mehr oder weniger weit aus seiner Porzellan-Umhüllung herausragen läßt, beim Polyphos-Simon-Unterbrecher dadurch, daß man durch Heben oder Senken eines Porzellan-Konus, welcher in die Öffnung hineinragt, letztere größer oder kleiner macht (Fig. 547).

Eine zweite praktisch wichtige Methode zur Regulierung der Unterbrechungszahl der Elektrolyt-Unterbrecher besteht in der Veränderung der Windungszahl und damit der Selbstinduktion im Primär-Stromkreis. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen: 1. dadurch, daß man die Primärspule aus Abteilungen zusammensetzt, von welchen man mehr oder weniger verwendet bzw. welche man parallel oder hintereinander schaltet, und 2. dadurch, daß man in den Primär-Kreis einen von den Primärwindungen des Induktors unabhängigen, abstufbaren Selbstinduktionswiderstand einschaltet. Dieser besteht aus einem aus dünnen Eisendrähten hergestellten Kern, um welchen Windungen aus gut leitendem Kupferdraht in verschiedenen Abstufungen gewickelt sind (ähnlich der Primär-Wicklung des Induktors).

Die Kombination mehrerer verschieden stark eingestellter Wehnelt-Einsätze (d. h. von verschieden großer Stiftlänge) und einer veränderlichen Primär-Wicklung rührt von Walter her und wird „Walter-

Schaltung" (Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. **4**, S. 46, 1901, und **5**, S. 13, 1901) genannt. Diese Kombination hat sich im praktischen Betrieb als sehr zweckmäßig erwiesen, um bei Verwendung von elektrolytischen Unterbrechern mehr oder weniger starke bzw. mehr oder weniger schnell aufeinanderfolgende Stromstöße zu erhalten. Die Veränderlichkeit ist wünschenswert, um die Röntgenröhre in geeigneter Weise zu betreiben, je nachdem man kürzer oder längerdauernde Aufnahmen, Durchleuchtungen oder therapeutische Bestrahlungen vornehmen will.

Wenn man außer der Walter-Schaltung im primären Stromkreis noch den oben erwähnten Selbstinduktions-Widerstand verwendet, so kann man die Sekundärströme noch feiner abstufen und sie dem jeweiligen Verwendungszweck in einfacher Weise anpassen. Statt des Selbstinduktions-Widerstandes wird vielfach hierzu ein gewöhnlicher Widerstand — Ohmscher Widerstand — benützt. Ich halte den ersteren aber bei Verwendung der elektrolytischen Unterbrecher für besser und benütze den Ohmschen Widerstand geringer Selbstinduktion nur dazu, um kleine Stromveränderungen vorzunehmen während die Röntgenröhre in Betrieb ist. Zu letzterem Zwecke eignet sich der Selbstinduktionswiderstand weniger gut, weil die in seinen Windungen entstehenden Induktionsströme an der Regulierkurbel — wenn sie von einem Kontaktknopf zum anderen bewegt wird — kleine Fünkchen verursachen, die im Laufe der Zeit den Kontakt verschlechtern können.

Sowohl der einfache Wehnelt- als der einfache Simon-Unterbrecher geben gute Unterbrechungen nur dann, wenn die Stromstärke eine gewisse Größe nicht überschreitet. Beim Simon-Unterbrecher hatte man schon frühzeitig erkannt, daß bei großen Stromstärken bessere Unterbrechungen erhalten werden, wenn man statt eines größeren Loches mehrere kleine anwendet, die im gleichen Diaphragma in Abständen nebeneinander angeordnet sind. Schon im Jahre 1901 habe ich sowohl für den Wehnelt- als den Simon-Unterbrecher die Kombination mehrerer parallel geschalteter Einsätze angegeben (D. R. G. M.), um große Stromstärken verwenden zu können. Dieses Verfahren hat sich auch zur weiteren Ausgestaltung der von Rieder und mir zuerst hergestellten Schnell- und Momentaufnahmen (s. S. 846) sehr gut bewährt.

Fig. 548 zeigt einen dreiteiligen Wehnelt-Unterbrecher (Siemens), bei welchem die einzelnen Einsätze je mit einem Schalldämpfer versehen sind. Letzterer bezweckt, das Geräusch, welches der Wehnelt-Unterbrecher infolge der bei jeder Unterbrechung auftretenden Explosion der Gas- bzw. Dampfblase verursacht, zu beseitigen. Er wird, wie Fig. 549 (Reiniger) zeigt, mittels eines Gummipfropfens über das Ende des Porzellandiaphragmas gesteckt, aus welchem der Platinstift

herausragt. Der Schalldämpfer besteht aus einem Porzellanhohlkörper P, über dessen innere Wandung ein säurefester Gummizylinder G gespannt ist. Zwischen diesem und dem Porzellankörper des Schalldämpfers befindet sich ein Luftraum, der mittels eines durch die Flüssigkeit des Unterbrechers geführten Röhrchens R mit der Außenluft

Fig. 548.
Dreiteiliger Wehnelt-Unterbrecher mit Schalldämpfer.

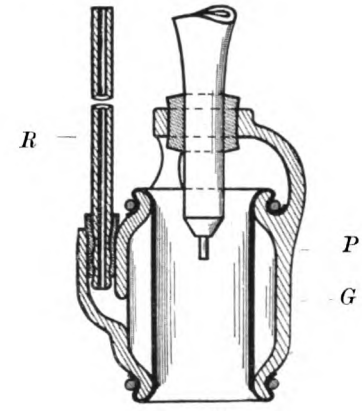


Fig. 549.
Schalldämpfer für Wehnelt-Unterbrecher.

in Verbindung steht. Luftraum und Gummizylinder dienen als Polster für den Explosionsstoß und beseitigen dadurch das lästige Geräusch fast vollständig.

Stromart.

Wir haben bisher stillschweigend vorausgesetzt, daß der durch die Primär-Wicklung fließende Strom „Gleichstrom“ sei, der von dem Unterbrecher ein- und ausgeschaltet wird. Steht aber nicht Gleichstrom, sondern „Wechselstrom“ zur Verfügung, so ist klar, daß die Unterbrechungsverhältnisse ganz andere sein müssen. Schon in den ersten Jahren der Röntgentechnik hat man sich bemüht, Unterbrecher zu konstruieren, welche auch für Wechselstrom verwendbar sind. Man suchte dies dadurch zu erreichen, daß man die Unterbrechung des Primärstromes immer im Scheitelwert der gewünschten Stromrichtung, d. h. gerade in dem Augenblick vornahm, in welchem der Wechselstrom seine größte Stärke besitzt (in Fig. 550 also bei a und b). Zu diesem Zweck konstruierte Boas bereits im Jahre 1899 einen Quecksilber-Strahlunterbrecher mit synchron laufendem Elektromotor, d. i. ein Motor, dessen Umdrehungszahl genau der Periodenzahl des Wechselstromes entspricht. Dadurch ist es möglich, die Unterbrechung in den gewünschten Augenblicken größter Stromstärke eintreten zu lassen.

Diese Anordnung hat beim Wechselstrom-Gas-Unterbrecher für direkten Wechselstrom-Betrieb der Induktorien wieder größere Anwendung gefunden.

Auch den elektrolytischen Unterbrecher hat man für Wechselstrom verwendet; bei ihm kann man die Unterbrechung nicht in den Scheitelwert verlegen, sondern sie erfolgt an beliebigen Stellen der Primär-Stromkurve. Man erhielt dementsprechend ganz verschieden starke Stromstöße im Sekundärkreis; erfolgte die Unterbrechung z. B. bei a (Fig. 550), so war der momentane Sekundärstrom am stärksten; je weiter die Stelle, an welcher die Unterbrechung erfolgte, von a entfernt lag, z. B. bei h, desto schwächer war er. Die Unregelmäßigkeit der einzelnen Stromstöße wäre — wenigstens für diagnostische Zwecke — nicht von so großer Wichtigkeit gewesen; denn da sie außerordentlich schnell aufeinander folgen, macht sich diese Verschiedenheit dem Auge am Durchleuchtungsschirm nicht bemerkbar. Viel störender ist dagegen der Umstand, daß die den Unterbrechungen zwischen e, c und f entsprechenden Stromstöße ungewünschter Richtung die Röntgenröhre stark schädigen. Die Unterdrückung dieser Stromstöße, — die in gleicher Stärke und gleicher Zahl wie diejenigen gewünschter Richtung auftreten —, können wohl durch Drosselröhren, Vorschaltfunkenstrecken und dgl. beseitigt werden, es gelingt dies jedoch nicht immer vollkommen, besonders nicht bei härteren Röntgenröhren. Außerdem nützt sich der Platinstift des Wehnelt-Unterbrechers sehr stark ab, wenn er mit Strömen verkehrter Richtung benützt wird. Man hat aus letzterem Grunde statt des teuren Platins als Anode Nickel verwendet und die starke Abnützung dadurch unschädlich gemacht, daß man den in einer Hülse verschiebbaren Stift auf einer isolierenden Unterlage U aufstehen ließ (Fig. 551, Siemens und Halske). Die durch die Abnützung kleiner werdende Anode stellt sich infolge des Belastungsgewichtes G selbsttätig auf die gewünschte Länge ein.

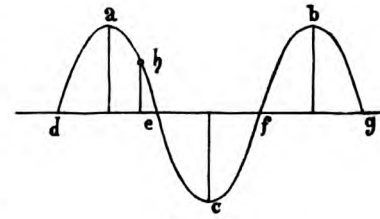


Fig. 550.
Wechselstromkurve.
a, b, c Scheitelwerte,
d, e, f, g Nullwerte.

Fig. 551.
Wechselstrom-Wehnelt-Unterbrecher mit Nickelstift.

Der Simon-Unterbrecher ist, wie schon erwähnt, für beide Stromrichtungen in gleicher Weise verwendbar, würde also bei direktem Wechselstrombetrieb wesentliche Vorteile bieten. Jedoch auch ihm haftet der Nachteil an, daß er die Ströme ungewünschter Richtung nicht ausschließt, und deshalb haben beide Formen des elektrolytischen Unterbrechers für den direkten Wechselstrombetrieb bis jetzt keine größere Anwendung gefunden.

Man hat aus diesem Grunde vielfach den Wechselstrom in Gleichstrom umgewandelt, was entweder durch einen rotierenden Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer (Wechselstrommotor gekoppelt mit einer Gleichstromdynamo) geschehen kann, oder mit einem elektrolytischen Gleichrichter (Grätzsche Zellen). Letzterer ist — natürlich richtige Konstruktion vorausgesetzt — dann besonders empfehlenswert, wenn der zur Verfügung stehende Wechselstrom dreiphasig ist (Drehstrom).

Die Umformung des Wechselstromes in Gleichstrom kann man umgehen, wenn man statt der Induktorien die sog. Hochspannungsgleichrichter benützt, welche unten noch besprochen werden sollen.

Wenn wir einen

Vergleich der verschiedenen Unterbrecher

anstellen und uns die Frage vorlegen, welcher der beste sei, so können wir nicht ohne weiteres einen bestimmten als den unter allen Umständen zu bevorzugenden bezeichnen. Es ist nicht möglich, im Rahmen einer gedrängten Darstellung der Röntgentechnik auf die zum Teil recht komplizierten Verhältnisse des Unterbrechungsvorganges bei den verschiedenen Unterbrecherarten einzugehen; ich möchte daher nur einige praktisch besonders wichtige Punkte kurz andeuten, die bei Beurteilung der Unterbrecher zu beachten sind.

Zunächst ist es von großer Bedeutung, welcher Art der zur Speisung des Induktors zur Verfügung stehende elektrische Strom ist. Es wurde in dieser Beziehung bereits der Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom erwähnt. Aber auch wenn Gleichstrom zur Verfügung steht, ist zu berücksichtigen, welche Spannung und Stromstärke benützt werden kann. Ist beispielsweise nur eine kleine Akkumulatoren-Batterie von 12 Zellen (24 Volt) vorhanden (wie bei kleinen transportablen Röntgenapparaten oder in Orten ohne elektrische Zentrale), so kommt der Elektrolyt-Unterbrecher nicht in Frage, da dieser höherer Spannung bedarf. Praktisch wird der Wehnelt-Unterbrecher im allgemeinen zwischen etwa 65 und 250 Volt, der Simon-Unterbrecher zwischen 110 und 250 Volt angewendet. Bei kleineren Spannungen

als 65 Volt wird man deshalb zweckmäßig einen Quecksilber-Strahl-, oder Zentrifugal-Unterbrecher benützen. Auch wenn eine Spannung zwischen 65 und 300 Volt vorhanden ist, kann einer der letztgenannten Unterbrecher angezeigt sein, z. B. wenn nur relativ geringe Stromstärke dem Leitungsnetz entnommen werden soll; denn wie oben schon bemerkt, erfordert der elektrolytische Unterbrecher wesentlich größere Stromstärke als der Quecksilber-Unterbrecher. Soll also der Röntgenapparat z. B. an eine schon bestehende Lichtleitung von geringem Querschnitt angeschlossen werden, so kommen in erster Linie die Quecksilber-Unterbrecher und von diesen besonders der Gasunterbrecher in Frage. Ist jedoch genügend Spannung und Stromstärke verfügbar, so bietet der Elektrolyt-Unterbrecher gewisse Vorzüge, insbesondere wenn man auch schnellste Aufnahmen herstellen will. Man verwendet dann am zweckmäßigsten den regulierbaren Simonschen für schwächere und mittlere, den Wehneltschen für stärkste Belastungen.

Außer der Art der Stromquelle ist für die Beurteilung der Unterbrecher die Frage sehr wichtig, wie rasch die einzelne Unterbrechung bei den verschiedenen Unterbrecherarten erfolgt, da ja hiervon die Induktionswirkung in hohem Grade abhängt. Nach dieser Richtung dürfte, wie schon erwähnt, der Elektrolyt-Unterbrecher, und ganz besonders der Simonsche der beste sein, weil die einzelne Unterbrechung des Stromes bei ihm ganz außerordentlich schnell stattfindet. In den schon oben angeführten Arbeiten von Ludewig sind diese Verhältnisse für die elektrolytischen Unterbrecher eingehend experimentell und theoretisch untersucht.

Auch in bezug auf Einfachheit und Zuverlässigkeit ist der elektrolytische Unterbrecher — wenn seine Konstruktion eine zweckmäßige ist — den übrigen nicht nachstehend. Ferner ist die Abnützung bei ihm nur eine sehr geringe; auch erfordert er sehr wenig Bedienung und bedarf nur sehr selten der Reinigung oder Neufüllung. Der bereits erwähnte Nachteil des elektrolytischen Unterbrechers, daß er größere Stromstärke beansprucht als die anderen Unterbrecher, ist häufig — besonders bei Aufnahmen — nicht von ausschlaggebender Bedeutung, da im allgemeinen die Stromkosten im Vergleich zu den übrigen Kosten des Röntgenbetriebes relativ klein sind. Ein weiterer Vorwurf, welcher den Elektrolyt-Unterbrechern gemacht wurde, nämlich der, daß sich die Flüssigkeit, besonders bei langdauerndem Betrieb mit größeren Stromstärken stark erwärmt, kann leicht dadurch beseitigt werden, daß man in solchen Fällen größere Flüssigkeitsmengen verwendet, die sich natürlich nur langsam erwärmen, und daß man bei länger dauerndem Betrieb — eventuell durch eine einfache Umschaltvorrichtung am Schalttisch — mehrere in verschiedenen, großen Gefäßen befindliche

Unterbrechereinsätze abwechselnd benützt. Wenn dies beachtet wird, ist auch die Abnützung und Wartung des Elektrolyt-Unterbrechers eine außerordentlich geringe.

Für intensive therapeutische Bestrahlungen von sehr langer Dauer hat sich der Gasunterbrecher sehr gut bewährt, besonders weil er relativ geringe Stromstärken erfordert und deshalb auch die Erwärmung des Induktoriums eine geringere ist.

Seite 831 wurde bereits erwähnt, daß durch Parallel-Schaltung mehrerer Wehnelt- oder Simon-Einsätze die Primärstromstärke bedeutend erhöht werden kann. Man ist hierdurch in der Lage, Sekundärstromstärken zu erzeugen, wie sie mit einer anderen Unterbrecherart kaum erzielt werden können.

Wie aus Vorstehendem ersichtlich, ist die Güte des Unterbrechers von außerordentlicher Bedeutung für die

Leistungsfähigkeit des Induktoriums.

Diese noch weiter zu steigern, war der Zweck einer Reihe von physikalischen Untersuchungen (s. S. 837), die mich zur Konstruktion meines Universal-Induktors führten.

Letzterer unterscheidet sich von den in der Röntgenologie bis dahin angewandten Induktorien dadurch, daß er sowohl mehrfache Primärwicklung als auch zwei nebeneinander liegende, symmetrische Sekundärwicklungen besitzt, welche ebenso wie die Primärwicklungen einfach, parallel oder hintereinander geschaltet werden können. Außerdem sind bei dem genannten Induktor die einzelnen Primärwicklungen nicht, wie bisher üblich, übereinander, sondern entsprechend den Abteilungen der Sekundärwicklungen nebeneinander angeordnet (s. Fig. 552). Hierdurch sind eine Reihe neuer Schaltungsmöglichkeiten gegeben, die richtig benützt, für den praktischen Röntgenbetrieb wertvoll sind. So können z. B. sowohl die beiden primären als die zwei sekundären Abteilungen nicht nur einzeln, parallel oder hintereinander geschaltet werden, sondern auch gegeneinander, d. h. die eine Primärwicklung erhält den Strom in entgegengesetzter Richtung als die andere. Dadurch werden auch in den Sekundärwicklungen entgegengesetzte Ströme erzeugt, die, richtig kombiniert, sich addieren. Durch die Gegeneinanderschaltung der Primärwicklungen wird aber eine sehr günstige Kraftlinienverteilung erzielt, die wieder eine besonders starke Induktion hervorruft. Man erhält durch diese patentierte Schaltungsweise — bei gleichen Stromverhältnissen im primären Stromkreis — bedeutend stärkere Sekundärströme, also einen günstigeren Wirkungsgrad des Induktoriums, was besonders für die Her-

stellung kürzester Aufnahmen (Momentaufnahmen) von großer Wichtigkeit ist. Beispielsweise möge erwähnt werden, daß ich mit dieser Schaltung meines Universalinduktors schon im Jahre 1907 Magenaufnahmen von Erwachsenen in $^1/_{10}$ Sekunde herstellte, während andererseits bei Hintereinanderschaltung der Sekundärspulen Ströme erhalten werden, welche für die Tiefentherapie ganz besonders gut geeignet sind. Dieser „Universal"-Apparat gibt daher höchste Leistungen sowohl in diagnostischer als in therapeutischer Beziehung, ohne daß seine Herstellung kostspieliger wäre als diejenige eines „Spezialapparates" für einen der genannten Zwecke.

Durch die verschiedenen Schaltungs- und Kombinationsmöglichkeiten der Primär- und Sekundärwicklungen kann man die verschiedenartigsten Sekundärströme erzielen. Von der Art der Sekundärströme (deren Kurvenform) hängt aber, wie schon auseinandergesetzt, bei Verwendung derselben Röntgenröhre die Qualität und Quantität der Röntgenstrahlung in hohem Grade ab.

Für verschiedene röntgenologische Arbeiten, Durchleuchtung, Oberflächen- bzw. Tiefen-Therapie und mehr oder weniger schnelle Röntgenographie sind zweckmäßig verschiedene Stromqualitäten, also verschiedene Kombinationen der Primär- und Sekundärwicklungen anzuwenden, welche Kombinationen in einfachster Weise durch Steckkontakte (für die Primäre) und durch ein abzuhängendes Gewicht (für die Sekundäre) vorgenommen werden. Welche Kombination für einen bestimmten Zweck die geeignetste ist, wurde von mir auf Grund theoretischer und experimenteller Arbeiten (s. Literaturübersicht) festgesetzt, einerseits durch Photographie der Stromkurven (s. Taf. XXIX, Abb. Nr. 1, 2 u. 3 und S. 814), andererseits durch praktisch röntgenologische Arbeiten. Von der großen Zahl der möglichen Kombinationen haben sich nur einige wenige für die verschiedenen praktischen Bedürfnisse als bestgeeignet ergeben und zwar für die Sekundärschaltung nur zwei, nämlich einerseits die „Hintereinanderschaltung" und andererseits die oben erwähnte „Entgegengesetzt-Parallel-Schaltung" der 2 Sekundärspulen.

Fig. 552 gibt eine schematische Darstellung des Stromverlaufes und der Kombinationsmöglichkeiten meines Universal-Induktors (Type II und III). In dem Schaltungsschema bedeutet:

1 = Sekundärwicklungen; A, B, C Enden der Sekundärwicklungen, von welchen Spiralkabel zu einem über dem Induktor befindlichen Hochspannungsschalter führen. Die verschiedenen Schaltungen der Sekundärwicklungen werden durch Heben bzw. Senken eines an der Außenseite des Induktorkastens befindlichen Gewichtes automatisch betätigt.

2 = Primärwicklungen; a, b, c, d Enden der Primärwicklungen. Diese können mittels einer am Schalttisch vorgesehenen Vorrichtung, dem Primär-Stecker, P. St., verschieden verbunden werden.

S = 2poliger Hebelschalter, der gestattet, die Netzleitung vom Apparat zu trennen.

W = 3 parallel geschaltete Wehnelt-Einsätze für die stärksten Belastungen, also für Blitz- und Moment-Aufnahmen.

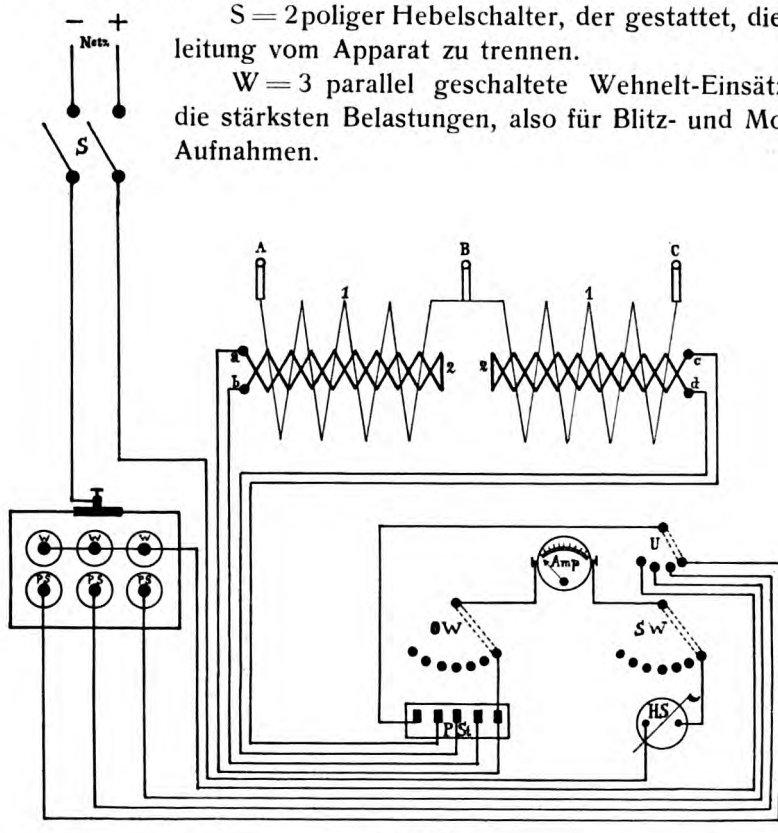


Fig. 552.
Schaltungsschema des Universal-Induktors nach Rosenthal. (Type II und III.)

P. S. = 3 Polyphos-Simon-Einsätze, von denen einer so einreguliert ist, daß er für schnelle und mittelschnelle Aufnahmen dienen kann, während die beiden anderen Polyphos-Simon-Unterbrecher etwas schwächer eingestellt sind und für Durchleuchtung und Therapie Verwendung finden. Selbstverständlich kann die Art und Zahl der Unterbrecher in beliebiger Weise gewählt werden, ebenso die Kombination von Unterbrecher, Primärwicklung und Sekundärwicklung. Der Arzt hat natürlich nicht nötig, die verschiedenen Schaltungsmöglichkeiten selbst zu erproben, sondern erhält nur die günstigsten Kombinationen, die auf Grund vieler Versuche für jeden einzelnen röntgenologischen Zweck festgelegt sind, zur Verwendung mitgeteilt, sodaß also die Wahl der jeweils besten Schaltung sehr einfach vonstatten geht.

O. W. = Ohmscher Widerstand; er dient zur feineren Regulierung des Primärstromes.

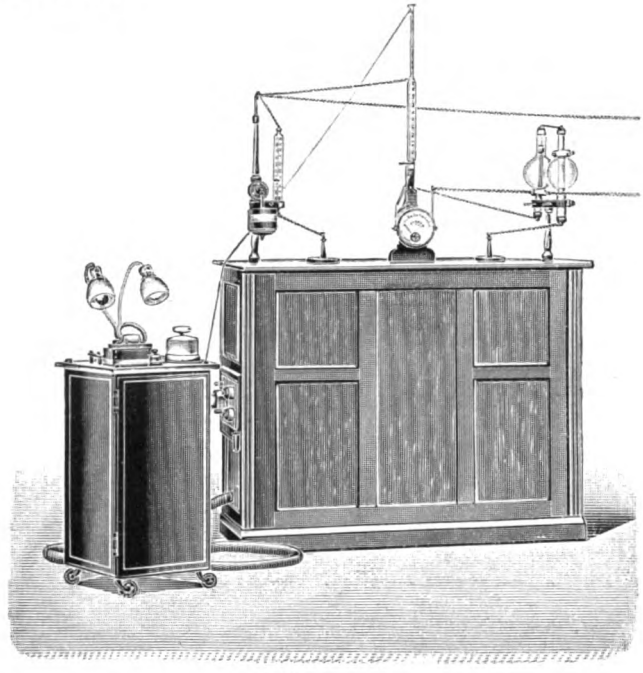


Fig. 553.
Äußere Ansicht des Universal-Induktors nach Rosenthal. (Type II und III.)

S.W. = Selbstinduktionswiderstand, der zur gröberen Abstufung des Primärstromes benützt wird.

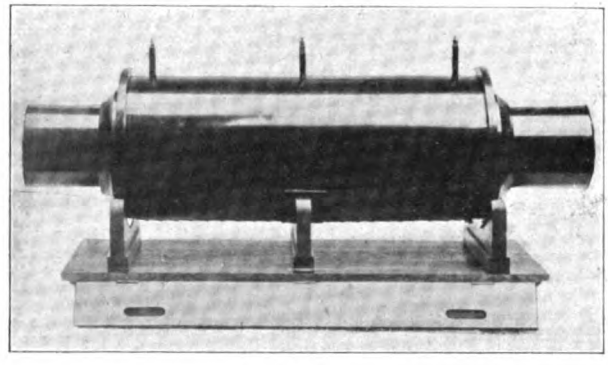


Fig. 554.
Rosenthalscher Universal-Induktor Type II und III.

U. = Unterbrecher-Umschalter; er ist auf dem Schalttisch angebracht, sodaß man von diesem aus bequem durch Verstellen eines

Hebels jeden gewünschten Unterbrecher — Wehnelt-, Simon- oder Gas-Unterbrecher — sofort in Betrieb nehmen kann.

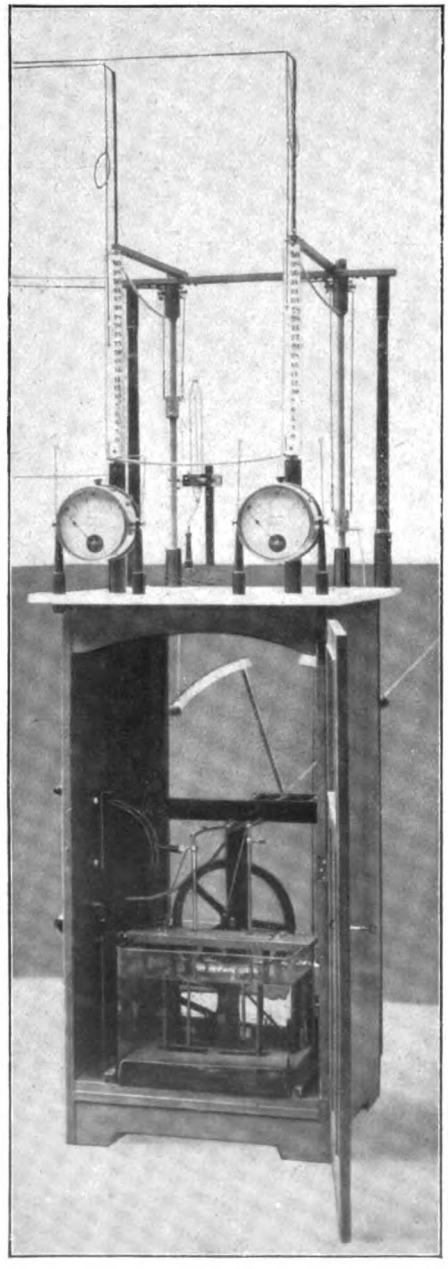


Fig. 555.
Schaltvorrichtung für mehrfachen Röhrenbetrieb.

P. St. = Primärstecker, mit dessen Hilfe die Primärschaltung des Induktoriums nach Wunsch gewählt werden kann.

H. S. = Hauptschalter. Mit diesem wird der Röntgenapparat ein- und ausgeschaltet.

Fig. 553 zeigt die äußere Ansicht des Universal-Induktors Type II und III, Fig. 554 die Induktorspule, bei welcher die mittleren Enden der beiden Sekundärspulen, wie auch in Fig. 552 dargestellt, zu einer Klemme geführt sind. Bei dem ersten Modell (Type I) meines Universalinduktors waren diese Enden einzeln mit je einer Klemme verbunden. Die Induktorspule ist in einen Eichenholzkasten eingeschlossen, welcher in Verbindung mit dem fahrbaren Schalttisch steht, der die Meß-, Schalt- und Regulierungsvorrichtungen enthält.

Es ist einleuchtend, daß man die Ströme der beiden sekundären Spulen auch getrennt verwenden kann zur gleichzeitigen Speisung zweier Röntgenröhren, z. B. für therapeutische Zwecke, oder für Zwecke der stereoskopischen Röntgenaufnahme bzw. Durchleuchtung.

Jedoch läßt sich der Doppel- oder mehrfache Röhrenbetrieb auch mit einem gewöhnlichen Induktorium ausführen, z. B. mit Hilfe einer Schaltvorrichtung Fig. 555, die den Se-

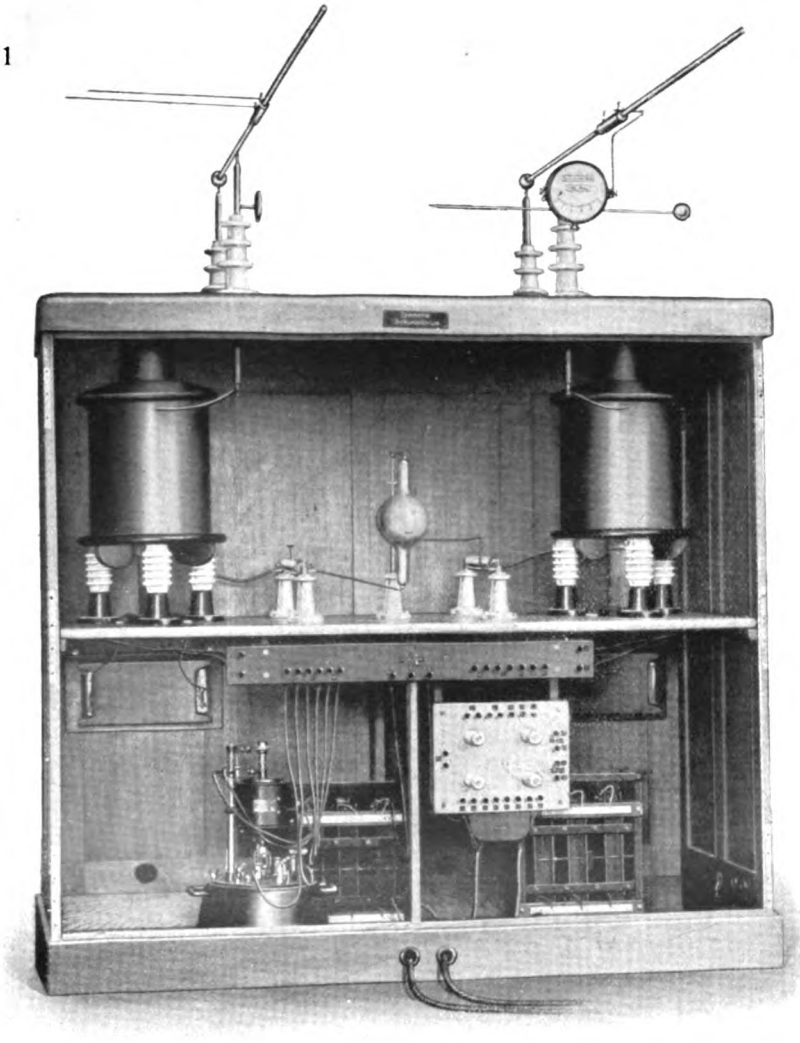


Fig. 556. Symmetrie-Apparat.

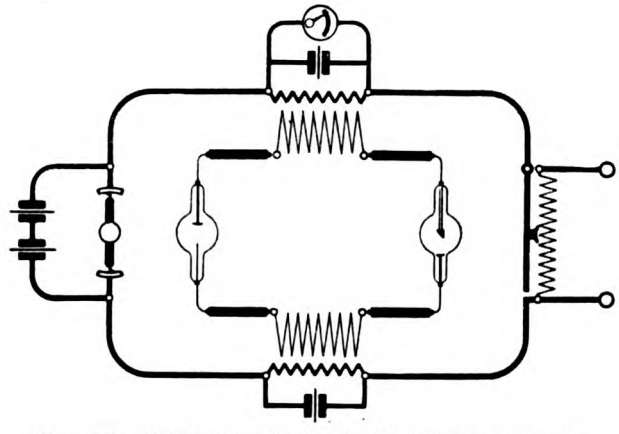


Fig. 557. Schaltungsschema des Symmetrie-Apparates.

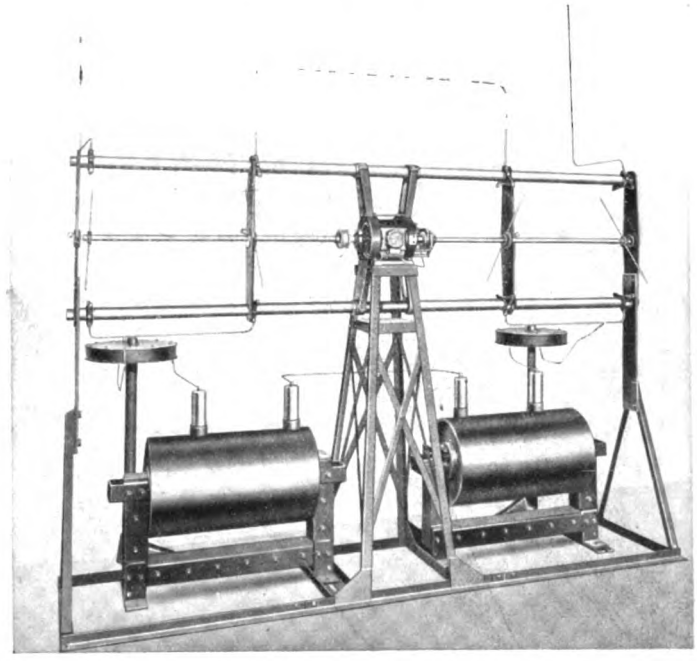


Fig. 558.
Multivolt-Apparat.

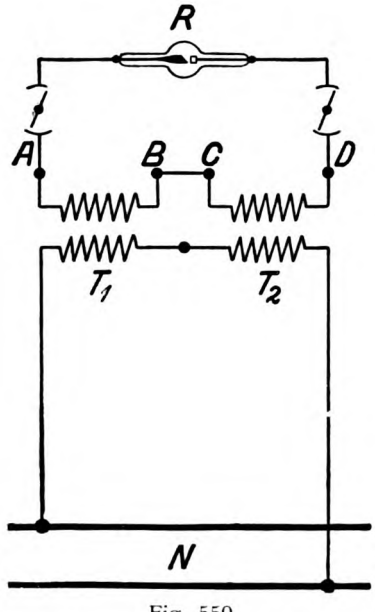


Fig. 559.
Schaltungsschema des Multivolt-Apparates.

kundärstrom abwechselnd nach der einen oder anderen Röhre leitet. Für jede Röhre sind besondere Meßvorrichtungen notwendig (parallele Funkenstrecke, Milliampèremeter) und auch je ein Hochspannungswiderstand, welcher den durch die Röhre fließenden Strom für jede einzelne Röhre zu regulieren gestattet. Hierdurch ist es möglich, in einfacher Weise den Betrieb der einen Röhre unabhängig von dem der anderen zu gestalten.

Die symmetrische Anordnung von zwei Sekundärwicklungen wurde später, in Anlehnung an meinen Universalinduktor, vielfach angewandt. So in dem mit Gasunterbrecher betriebenen Symmetrieapparat von Reiniger (Fig. 556), dessen Schaltungsschema Fig. 557

zeigt, im Siemens-Multivolt-Apparat (Fig. 558) einem Hochspannungsgleichrichter, dessen Schaltungsschema in Fig. 559 dargestellt ist (s. auch S. 858), im Dessauer'schen Neo-Intensiv-Apparat (Fig. 560, Veifa) gleichfalls einem Hochspannungsgleichrichter mit 2 großen Öltransformatoren und Nadelschaltern (s. auch S. 858), usw.

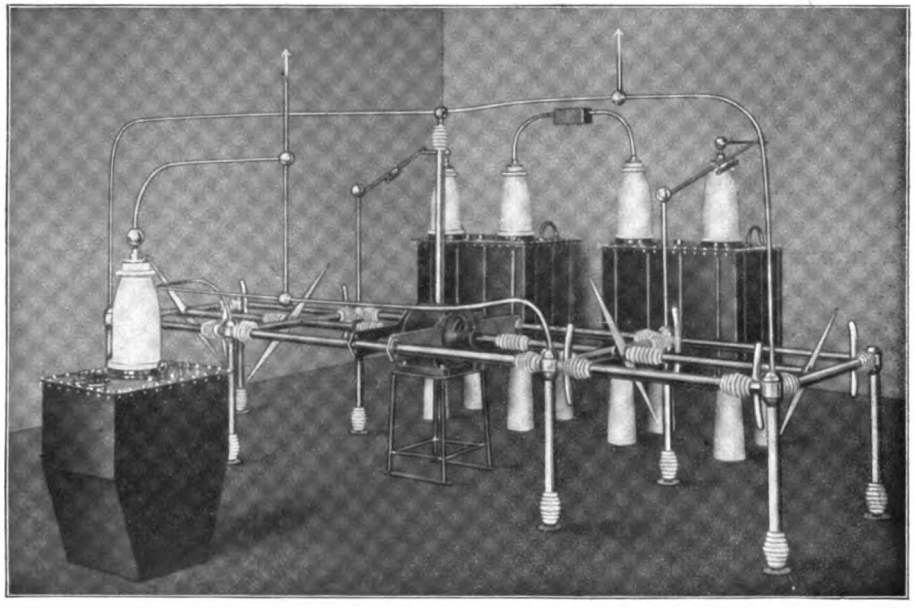


Fig. 560.
Neo-Intensiv-Apparat.

Das Bestreben, kürzeste Expositionszeiten auch mit den üblichen, mit einfacher Sekundärwicklung versehenen Induktorien zu erhalten, hat u. a. auch dazu geführt, Apparate von ganz besonders großen Dimensionen herzustellen. Wenn auch bei wesentlich ungünstigerem Wirkungsgrad, als demjenigen meines Universalinduktors, ist es bei geeigneten Wicklungsverhältnissen der Primär- und Sekundärspule und bei genügend starken Strömen auch mit diesen Apparaten möglich, in einem Bruchteil einer Sekunde Röntgenaufnahmen, auch größerer Objekte, zu erhalten. Auf diese Weise entstanden die sogenannten

Moment- und Einzelschlag(Blitz)-Apparate.

Bei letzteren erzeugt eine einmalige Unterbrechung des Primärstromes einen so starken Sekundärstrom, daß damit gewisse Aufnahmen gemacht werden können, allerdings durchaus nicht alle. Der einmalige Stromanstieg und Stromabfall in der Primärspule erzeugt in der Sekun-

därspule nicht etwa, wie vielfach angenommen wurde, nur je einen Stromimpuls, sondern eine große Zahl solcher, die immer schwächer werden (abklingen) (siehe Fig. 562). Nur die ersten dieser Stromstöße erzeugen durchdringungsfähige Röntgenstrahlen, während die späteren, ohne solche zu liefern, zur Erhitzung und — bei schärfer zeichnenden Röhren — zur Einschmelzung und evtl. Zerstörung der Antikathode beitragen.

Bei den sogenannten Einzelschlag-Apparaten kann also nur beim Primärstrom, nicht aber im Stromkreis der Röntgenröhre selbst, von einem einzelnen Schlag die Rede sein. Eine wirkliche Einzelschlagaufnahme habe ich bereits im Jahre 1910 dadurch erhalten, daß ich von den durch einen Wehnelt-Unterbrecher erzeugten sekundären Stromimpulsen mit Hilfe einer besonderen Schaltvorrichtung einen einzelnen herausnahm und diesen durch die Röntgenröhre leitete. In der S. 847 angeführten Arbeit ist näheres hierüber und besonders auch über die Messung der äußerst kurzen Expositionszeit ($^1/_{3600}$ Sekunde) angegeben.

Wie schon erwähnt, genügen die Einzelschlagaufnahmen für manche, aber durchaus nicht für alle Zwecke; es ist daher für schwierigere

Fig. 561.
Nicht abklingende Stromimpulse.

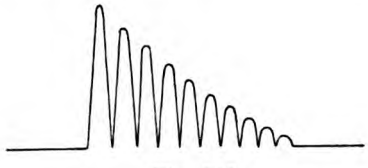


Fig. 562.
Abklingende Stromimpulse.

Aufnahmen notwendig, mehrere aufeinanderfolgende Impulse durch die Röntgenröhre zu schicken, um ausexponierte Bilder zu erhalten. Hierdurch wird aber natürlich die Expositionszeit bedeutend vergrößert, da, wie Fig. 561 zeigt, zu der Zeitdauer der Stromimpulse noch die viel größere der stromfreien Zwischenräume hinzukommt. Es ist ferner einleuchtend, daß es viel günstiger ist, wenn die einzelnen Impulse so aufeinanderfolgen, wie Fig. 561 zeigt, und nicht abklingend (wie in Fig. 562), da im letzteren Fall bei gleicher Röntgenstrahlenausbeute die Antikathode viel stärker in Anspruch genommen wird.

Die einmalige Schließung und Unterbrechung des Primärstromes kann bei den sogenannten Einzelschlag- oder Blitzapparaten auf verschiedene Weise erfolgen.

Klingelfuß führte sie dadurch aus, daß er einen, mit dem einen Pol verbundenen Kupferstab in Quecksilber tauchte, das den anderen Pol bildete, und rasch wieder aus diesem herauszog; Koch, indem

er mit einer Pistole einen stromführenden Draht des Primärkreises durchschoß, unmittelbar nachdem der Strom geschlossen worden war; Dessauer, indem er in den Primärkreis einen dünnen Metalldraht (Blitzpatrone) einschaltete, der von einer feinkörnigen Isoliermasse dicht umgeben ist, wodurch bei großer Stromstärke eine plötzliche, explosionsartige Unterbrechung verursacht wird; Reiniger, Gebbert & Schall benützen in dem sogenannten Unipuls-Apparat zum Öffnen des Stromes einen Kupferstift, welcher mittels eines Fallgewichtes rasch aus dem Quecksilber herausgezogen wird. Hierbei erfolgt die Stromunterbrechung in einer Explosionskammer, was eine möglichst plötzliche Trennung von Stift und Quecksilber veranlaßt. Ich verwendete die vorzügliche Unterbrechung des Wehnelt-Unterbrechers und beschränkte die Zahl der Unterbrechungen (je nach dem aufzunehmenden Körperteil) durch einen mehr oder weniger dicken, von Luft umgebenen Schmelzdraht. Das Durchschmelzen des letzteren hat also hierbei nicht den Zweck, einen Induktionsstrom hervorzurufen (wie bei dem obenerwähnten Dessauerschen Blitz-Apparat), sondern ausschließlich den, die Zahl der weit besseren Unterbrechungen des Wehnelt-Unterbrechers nach Belieben zu wählen; es ist daher hierbei kein Kondensator parallel zur Blitzpatrone zu schalten, was bei den übrigen Blitzapparaten notwendig ist. Je nach der Dicke des verwendeten Schmelzdrahtes erhält man mehr oder weniger Wehnelt-Unterbrechungen und kann so in einfachster Weise für schwieriger aufzunehmende Körperteile eine größere Anzahl wählen als für leichter aufzunehmende. Ein einzelner solcher Stromimpuls dauerte in einem bestimmten Falle (s. S. 847) ca. $^1/_{3600}$ Sekunde und die Zwischenzeit zwischen zwei Impulsen ca. $^1/_{300}$ Sekunde; man konnte also in $^1/_{300}$ Sekunde zwei Impulse, in $^1/_{150}$ Sekunde drei Impulse, in $^1/_{100}$ Sekunde vier Impulse etc. durch die Röntgenröhre schicken. Jeder einzelne dieser Impulse dauerte nur etwa $^1/_{3600}$ Sekunde und greift deshalb die Röntgenröhre weniger an, weil in den verhältnismäßig großen Pausen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stromstößen eine relativ gute Wärmeableitung von der Auftreffstelle der Kathodenstrahlen erfolgen kann. Die von mir verwendete Schmelzpatrone besteht aus einem kleinen Specksteinzylinder, welcher eine Längsrinne besitzt. In letztere können dünne Kupferdrähte von verschiedenem Durchmesser eingelegt werden, deren Enden an massiven Metallstücken, welche am Ende des Specksteinzylinders angebracht sind, durch Umwickeln befestigt werden. Die Patrone wird in eine Marmorhülle eingesteckt und der Strom durch federnde Kontakte zugeleitet. Mit Einschaltung des Hauptschalters des Röntgenapparates schmilzt der dünne Draht und beschränkt je nach seiner Dicke die Expositionszeit auf eine größere oder kleinere

Zahl von Einzelunterbrechungen des Wehnelt-Unterbrechers. — Für die verschiedenen Aufnahmen sind natürlich die Drahtdicken und damit die Expositionszeiten festgelegt.

Die Bestrebungen von Rieder und mir, sehr

kurzzeitige Röntgenaufnahmen

in der praktischen Röntgenologie zu ermöglichen, reichen bis zum Jahre 1899 zurück (H. Rieder und J. Rosenthal, Momentaufnahmen des Thorax mit Röntgenstrahlen. Münchner med. Wochenschr. 1899, Nr. 32, und Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen 1899, Bd. 3, S. 100). Im Jahre 1905 war es uns gelungen, die Expositionszeiten weiter herabzusetzen, so daß wir den Herzrand eines Erwachsenen in $^1/_{10}$ Sekunde aufnehmen konnten (Münchner med. Wochenschr. 1905, Nr. 17). In dieser Publikation gaben wir auch schon an, in welcher Weise die kurzen Expositionszeiten genau gemessen werden können.

Wir hatten damals zu den Versuchen ein Induktorium von 50 cm Funkenlänge mit Polyphos-Simon-Unterbrecher benützt, und zwar bei einer elektrischen Spannung der Primärleitung von 220 Volt. Bis dahin hatte man derartig hohe Spannungen für den Betrieb von Induktorien nicht zu verwenden gewagt, weil die Schließungsinduktion hierbei natürlich auch sehr viel größer ist als bei niedrigerer Spannung.

Deshalb setzte man vielfach die Spannung künstlich herab und zwar etwa bis 65 Volt bei Verwendung des Wehnelt-Unterbrechers bzw. 110 Volt beim Simon-Unterbrecher. Hierzu benützte man die sog. Abschaltwiderstände, deren Prinzip aus Fig. 563 leicht verständlich ist. Bei A und B des Widerstandes W wird das Leitungsnetz angeschlossen, bei C und D der Induktor. Je nachdem die Kurbel K näher bei a oder b liegt, wird die Primärspannung des Induktors kleiner bzw. größer. Wenn K bei a liegen würde, wäre sie etwa gleich der halben, bei b gleich der vollen Leitungsspannung.

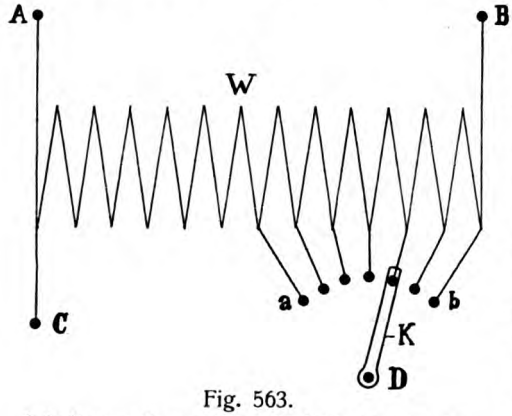


Fig. 563.
Schaltungsschema des Abschaltwiderstandes.

Infolge verschiedener Verbesserungen, welche auf meine Veranlassung an dem Induktorium, der Ventilröhre und der Röntgenröhre vorgenommen wurden, konnte die Schließungsinduktion in der Röntgenröhre auch bei 220 Volt ohne Verwendung eines Abschalt-

widerstandes vollständig vermieden werden, und von da ab konnten die angeführten Resultate regelmäßig erhalten werden.

Im Jahre 1907 ist es mir dann mit Hilfe des oben beschriebenen Universal-Induktors gelungen, die Expositionszeiten noch weiter bedeutend abzukürzen und damit eine Reihe von Röntgenaufnahmen zu ermöglichen, die bis dahin unausführbar schienen (H. Rieder und C. Kästle, Neue Ausblicke auf die weitere Entwicklung der Röntgendiagnostik. Münchner med. Wochenschr. 1908, S. 381). So gelang es u. a. erstmals von dem in Bewegung befindlichen Magen Aufnahmen mit scharfen Konturen herzustellen (siehe die Magenkinematogramme auf Taf. IV, Bd. I) oder schärfste Herzaufnahmen vom Lebenden usw.

Die gelegentlich geäußerte Behauptung einiger Röntgenologen, daß die von mir erzielten Resultate schon früher von ihnen erhalten worden seien, ist nicht zutreffend. Es geht dies u. a. schon daraus hervor, daß niemals vorher ein scharfes Röntgenogramm des bewegten Magens veröffentlicht wurde, was bei der außerordentlichen Wichtigkeit solcher Aufnahmen doch sicherlich geschehen wäre.

Anschließend an meine Arbeiten wurde dann von verschiedenen Seiten und auf verschiedene Weise die Moment-Röntgenographie mit mehr oder weniger gutem Erfolg ausgeführt. Während Rieder und ich im Jahre 1899 — im Vergleich zu den damals üblichen langen Expositionszeiten — Röntgenogramme mit weniger als 1 Sekunde Belichtungszeit als Moment-Röntgenaufnahmen bezeichnen konnten, hat sich durch die Ermöglichung weiterer Abkürzung der Expositionszeit der Begriff Moment-Röntgenaufnahme insofern geändert, als man heute darunter solche mit weniger als $^1/_{10}$ Sekunde Belichtung versteht. Bei Expositionszeiten von $^1/_{10}$ Sekunde aufwärts bis zu einigen Sekunden spricht man von Schnellaufnahmen.

Meine Ansicht über die

Bedeutung der Momentaufnahmen

für die praktische Röntgenologie habe ich in einer Publikation über „Röntgenaufnahmen in $^1/_{3600}$ Sekunde" bereits im Jahre 1910 (Verh. d. Deutsch. Röntgenges. Bd. VI, S. 149, 1910) wie folgt geäußert:

„Man hat von mancher Seite und lange Zeit meine Bestrebungen, die Expositionszeit wesentlich abzukürzen, als „Sport" betrachtet, ja sogar noch zu einer Zeit, zu welcher die große praktische Bedeutung der Schnellaufnahmen außer Frage stand. Ich erinnere nur an die ersten scharfen Lungenstrukturaufnahmen, die ich im Jahre 1907 publizierte und auf dem 4. Röntgenkongreß 1908 zeigte, oder an die auf dem gleichen Kongreß von mir zum erstenmal vorgeführte Herzstillstandsaufnahme, welche so scharfe Konturen des Herzens vom Lebenden zeigte, wie sie bis dahin nur bei Leichenaufnahmen bekannt waren, oder an die ersten scharfen

Aufnahmen des Magens, die gleichfalls nur mit wesentlich abgekürzter Expositionszeit möglich sind. Diese Resultate ließen allmählich die Bemerkungen über „sportliche Leistungen" verstummen.

Der große Fortschritt, den die Ermöglichung abgekürzter Expositionszeiten brachte, bestand und besteht in erster Linie — wie ich bei jeder Gelegenheit hervorhob — in der Erzielung schärferer Bilder.

Wenn man allerdings die Expositionszeiten abkürzt, ohne damit diesen Hauptzweck — Erzielung schärferer Röntgenogramme — zu erfüllen, ja, wenn man, wie dies vielfach geschah und noch geschieht, durch Abkürzung der Expositionszeit die Schärfe sogar verringert, so muß man allerdings „derartige" Fortschritte lebhaft bedauern.

Daß die weitere extreme Abkürzung der Expositionszeit, über die ich heute berichten möchte, auch nur annähernd ähnliche Bedeutung für die praktische Röntgenologie haben wird, wie die eingangs erwähnte, halte ich für höchst unwahrscheinlich. Nach einer Richtung dürfte sie vielleicht eines Tages praktischen Wert gewinnen, wenn es nämlich gelingen sollte, wirkliche kinematographische Herzaufnahmen herzustellen; was nach dieser Richtung bisher gezeigt wurde, ist ziemlich wertlos. Also praktisch ist zunächst die mir neuerdings gelungene extreme Abkürzung der Expositionszeit von relativ geringer Bedeutung, wissenschaftlich ist sie jedoch interessant."

Vorrichtungen zur Unterdrückung der ungewünschten Stromphase.

Seite 812 wurde schon darauf hingewiesen, daß durch die Röntgenröhre nur Ströme einer Richtung fließen sollen, daß aber die mit Strom-Unterbrecher oder -Schließer versehenen Induktorien Ströme beider Richtungen liefern. Infolge geeigneter Konstruktion der Apparate konnte man wohl die elektrische Spannungsdifferenz in der gewünschten Richtung wesentlich größer erhalten als in der ungewünschten, sodaß bei kleineren Apparaten eine in den Stromkreis der Röntgenröhre eingeschaltete „Vorschalt-Funkenstrecke" von einigen Zentimetern schon genügte, die Ströme ungewünschter Richtung zu unterdrücken. Wegen des Geräusches und besonders wegen des Auftretens der schädlichen, nitrosen Gase hat Reiniger die Ventilfunkenstrecke in eine mit einem chemisch indifferenten Gas gefüllte Glaskugel gebracht (in Fig. 556 ersichtlich). Allein die Vorschaltfunkenstrecke genügte durchaus nicht immer, um die ungewünschten Ströme zu unterdrücken. Besonders bei Verwendung härterer Röntgenröhren, die große Spannungsdifferenzen erfordern, ist auch in ungewünschter Richtung noch eine so hohe Spannungsdifferenz vorhanden, daß diese von der Vorschaltfunkenstrecke nicht beseitigt werden kann. Deshalb

schaltet man zweckmäßig statt der Vorschaltfunkenstrecke sogenannte „Drossel- oder Ventilröhren“ vor die Röntgenröhre. Wie bei den Röntgenröhren (s. S. 870) unterscheidet man auch bei den Ventilröhren Ionen- und Elektronen-Ventile. Letztere, die auch „Kenetron“ genannt werden, besitzen höchstes Vakuum, erstere ein

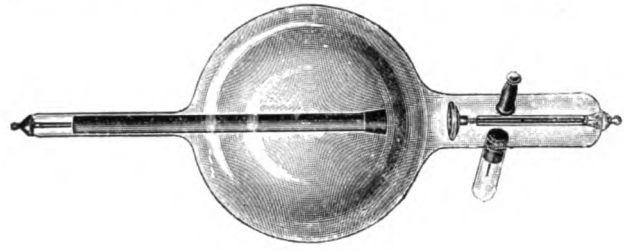


Fig. 564.
Ventilröhre nach Koch.

Vakuum, das bedeutend niedriger als das der Ionen-Röntgenröhren ist. — Die Form und Anordnung der beiden Elektroden der Ionen-Ventile sind derart, daß der hochgespannte Strom in der einen Richtung sehr leicht, in der anderen aber nicht oder nur sehr schwer durch die Ventilröhre fließen kann. Fig. 564 zeigt die Ventilröhre von Koch

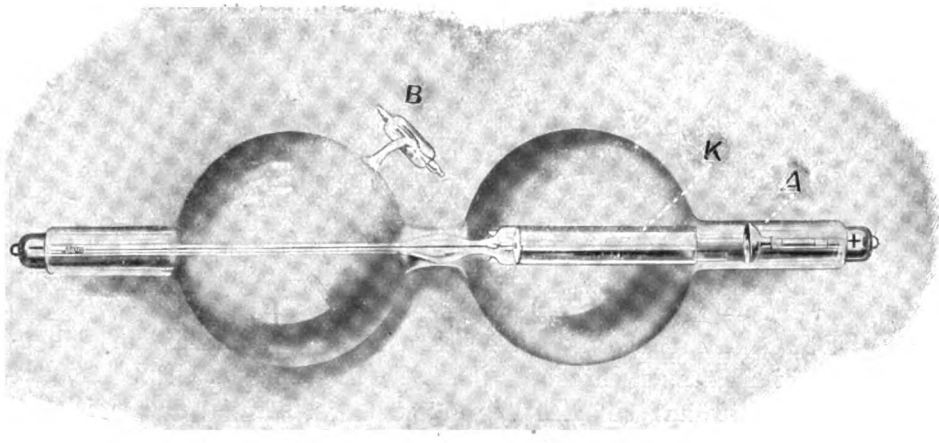


Fig. 565.
Rosenthalsche Konstanz-Ventilröhre.

und Sterzel, Fig. 565 die von mir angegebene, von Gundelach hergestellte „Konstanz-Ventilröhre“. Sie beruht auf der geeigneten Ausbildung des sogen. „Kathodendunkelraumes“. Dieser die Kathode umgebende Raum bietet dem elektrischen Strom unter Umständen

einen sehr großen Widerstand. Ist in Fig. 565 „A" Kathode (—) und „K" Anode (+), so ist der Kathodendunkelraum derart gestaltet, daß er dem Strom einen bedeutenden Widerstand entgegensetzt. Ist dagegen „A" Anode und „K" Kathode, — wie es für den Strom gewünschter Richtung der Fall sein muß —, so ist der Widerstand äußerst gering. Da das gute Funktionieren u. a. auch von der richtigen Höhe des Vakuums abhängt, habe ich der „Konstanz-Ventilröhre" durch Aneinanderschmelzen zweier großer Kugeln ein ganz besonders großes Volumen gegeben, das natürlich das Vakuum weniger leicht ändert als ein kleineres. Eine Ventilröhre von gleich großem Volumen mit nur einer Kugel ist deshalb praktisch nicht ausführbar, weil sie einen so großen Durchmesser erhalten müßte, daß die Gefahr des Implodierens eine viel zu große wäre. Eine Reguliervorrichtung B (am besten die Bauer'sche) gestattet überdies in einfacher Weise das Vakuum wieder zu erniedrigen, wenn es zu hoch geworden ist. Im Gegensatz zu andern Konstruktionen zeigt das Konstanz-Ventil bei richtiger Härte kein grünes Licht. Man erkennt infolgedessen leicht, ob es zu regulieren ist, und wie stark die Regulierung zu erfolgen hat, nämlich so lange, bis das grüne Licht eben verschwindet. Das Konstanz-Ventil ist — trotz des Patentschutzes — in seiner äußeren Form vielfach nachgeahmt worden, ohne daß aber die Nachahmungen die wertvollen inneren Eigenschaften des Gundelachschen Fabrikats besitzen.

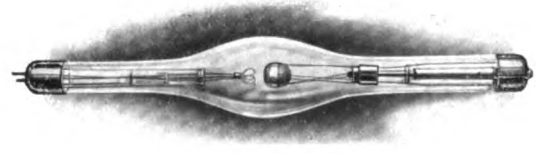


Fig. 566.
Simplex-Glühkathoden-Ventilröhre.

Die Glühkathoden-Ventilröhre beruht darauf, daß ein glühender Draht Elektronen aussendet. Sie besteht aus einem Glasgefäß, das, wie schon erwähnt, so hoch wie möglich evakuiert ist und gleichfalls 2 Elektroden besitzt. Die eine besteht aus einem Glühdraht, der durch eine Akkumulatorenbatterie oder einen Wechselstrom-Transformator bis zur hellen Glut erhitzt wird. Wird diese Elektrode als Kathode (—) benützt, so bietet die Röhre dem Stromdurchgang nur sehr geringen Widerstand, und umgekehrt einen sehr großen, wenn der Glühdraht als Anode (+) verwendet wird. Es wird daher nur die eine Phase des Wechselstroms durchgelassen. Fig. 566 zeigt die Simplex-Glühkathoden-Ventilröhre von Müller.

B. Unterbrecherlose Apparate mit mechanischem Hochspannungsgleichrichter.

Schon in den ersten Jahren der Röntgen-Aera hat man versucht, den Wechselstrom direkt — ohne Verwendung eines Unterbrechers — für die Erzeugung von Röntgenstrahlen zu benützen. Man hat ihn mittels eines Transformators auf höhere Spannung gebracht und den so erhaltenen hochgespannten Wechselstrom direkt in die Röntgenröhre geleitet. In seiner zweiten Mitteilung hat Röntgen bereits im Jahre 1896 eine Vakuumröhre mit zwei Kathoden erwähnt (Bikathodenröhre), Fig. 567, welche für solche Zwecke verwendbar wäre. Wenn der hochgespannte Wechselstrom bei den beiden Elektroden a und b der Röhre zugeführt wird, ist für den einen Stromimpuls a, für den entgegengesetzten Stromimpuls jedoch b Kathode. In beiden Fällen werden aber die Kathodenstrahlen auf die nicht im Stromkreis befindliche Antikathode c fallen und dort Röntgenstrahlen erzeugen. Da die Auftreffstelle beider Kathodenstrahlenbündel im allgemeinen nicht zusammenfällt, kommt diese Anordnung für scharfe Röntgenaufnahmen und Durchleuchtungen kaum in Frage, dagegen ist sie wohl für therapeutische Zwecke verwendbar. Sie hat aber auch hierfür bis jetzt keine größere Anwendung gefunden.

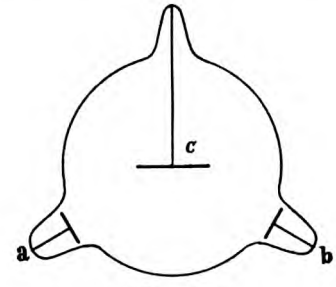


Fig. 567.
Einfache Bikathodenröhre.

Erst als F. J. Koch mit seinem

Röntgentransverter

im Jahre 1904 einen Apparat konstruierte, der nur die eine Stromphase in die Röntgenröhre leitete, bzw. — im Jahre 1905 gemeinschaftlich mit Sterzel — eine Gleichrichtung der beiden entgegengesetzt gerichteten Stromphasen ermöglichte, sodaß nur noch Ströme einer Richtung auftraten, konnte der unterbrecherlose Wechselstrombetrieb Eingang in die praktische Röntgenologie finden. (Beschreibung des Röntgentransverters S. 854.)

Wie aus dem amerikanischen Patent Nr. 774138 hervorgeht, hat Lemp bereits im Jahre 1897 die gleiche Idee gehabt. Von einer Anwendung derselben in der praktischen Röntgenologie vor der Kochschen Konstruktion ist mir jedoch nichts bekannt.

Auch Des Coudres hat, wie H. Th. Simon in der Physikalischen Z. S., Bd. 7, S. 412, 1906 mitteilt, im Institut für angewandte Elektrizität

der Universität Göttingen eine Anordnung geschaffen, mit deren Hilfe Wechselstrom in hochgespannten Gleichstrom umgewandelt werden kann. In seiner Dissertation hat H. Krön cke den

Des Coudres'schen Apparat

näher beschrieben. Fig. 568 zeigt dessen Schaltschema in der von Krön cke für seine Messungen verwendeten Anordnung.

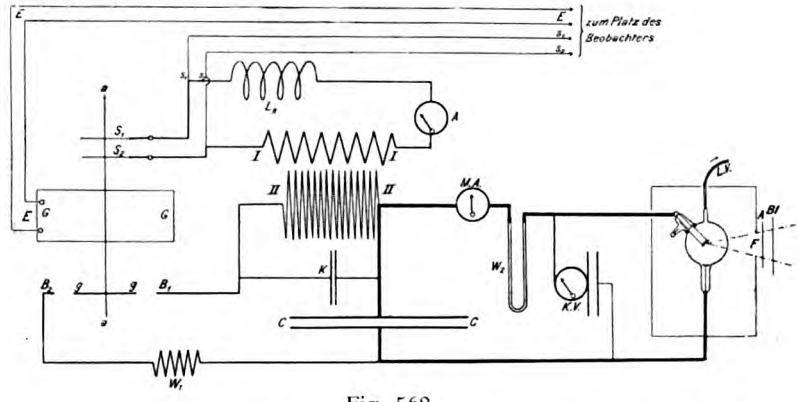


Fig. 568.
Stromschema des Des Coudres'schen Hochspannungs-Gleichrichters

Der Primärkreis S_1, L_R, A, I, I, S_2 eines Transformators wird durch die Wechselstromdynamo GG gespeist. Der Sekundärkreis II, B_1, g, g, B_2, W_1, C, C, II lädt den Kondensator CC in den Momenten höchster Spannung auf, was durch den auf der Achse der Wechselstrommaschine befestigten Kontaktmacher g, g ermöglicht wird. Letzterer ist eine rotierende Nadel, die nur bei höchster Spannung B_1 mit B_2 verbindet. Der Gleichstromhochspannungskreis ist in der Figur durch starke Striche gekennzeichnet. Es bedeuten:

GG Wechselstromdynamo von 78 Volt,
EE Erregungsleitung dazu bis zu 60 Volt,
aa Achse der Maschine,
$S_1 S_2$ Schleifringe,
L regulierbare Drosselspule,
A Ampèremeter,
I, I Primärspule eines großen Induktors der A. E.-G.,
II, II Sekundärspule eines Induktors,
K zwei Leydener Flaschen von je 10000 cm Kapazität hintereinander geschaltet,
$B_1 B_2$ zwei Schleiffedern, die durch eine mit der Achse der Wechselstrommaschine rotierende Messingschiene gg verbunden werden,
W_1 induktionsfreier Widerstand (Schniewindtgitter von 650 Ohm),
CC großer Glasplattenkondensator von 0,17 Mikrof. Kapazität und einer Durchschlagsfestigkeit von etwa 60000 Volt.

Der Gleichstromhochspannungskreis:

MA Milliampèremeter,
W_2 veränderlicher Widerstand bis zu 10^7 Ohm (10 Teile CdJ_2 in 90 Teilen $C_5H_{11} \cdot OH$),
KV Hochspannungsvoltmeter von Abraham Villard mit Meßbereichen bis zu 200 Kilovolt.

Vor- und Nachteile der Hochspannungsgleichrichter.

Bei diesen ist, wie erwähnt, ein Unterbrecher nicht nötig; statt dessen wird aber ein rotierender Schalter verwendet, welcher den hochgespannten Wechselstrom in dem Augenblick, in welchem er die Richtung wechselt, umschaltet. Theoretisch sollte diese Umschaltung erfolgen, während die Spannung null ist, also funkenlos vor sich gehen; praktisch ist dies aber durchaus nicht der Fall. Im Gegenteil treten unter Umständen recht bedeutende Funken- und Büschelentladungen auf, die Ozon sowie schädliche nitrose Gase erzeugen und auch Veranlassung zur Entstehung von Wechselströmen geben, welche sich über den gleichgerichteten Hochspannungsstrom lagern und so in der Röntgenröhre unter Umständen die bekannten nachteiligen Wirkungen hervorrufen können.

Ob ein solcher rotierender Hochspannungsschalter weniger Nachteile besitzt als ein moderner, wirklich gut konstruierter Unterbrecher kann bezweifelt werden; jedenfalls halte ich es für verfehlt, wenn man, wie dies vielfach geschehen ist, den unterbrecherlosen Betrieb dem Induktorienbetrieb nur deshalb vorziehen würde, weil ersterer keinen Unterbrecher benötigt. Gegenüber einem guten Induktorium hat der Hochspannungsgleichrichter den Nachteil, daß bei ihm der durch die Röntgenröhre fließende Sekundärstrom Kurven aufweist, die wesentlich breiter und niedriger sind und in kürzeren Abständen aufeinander folgen. Wie im Kapitel „Praktische Röntgenphysik" Bd. I ausgeführt, sind derartige Sekundärstromkurven aber weniger günstig, da sie bei gleicher durch die Röntgenröhre geleiteter Energie geringere Röntgenstrahlenausbeute ergeben. Dies ist auch der Grund, weshalb man mit Hochspannungsgleichrichtern bei gleichharter Röntgenröhre und gleicher Milli-Ampèrezahl bedeutend länger exponieren muß, um ein ausexponiertes Röntgenbild zu erhalten als beim Induktorium. Eine Folge hiervon ist aber wieder, daß man die Röhre viel stärker belasten muß als beim Induktorium und deshalb gezwungen ist, unter sonst gleichen Bedingungen weniger scharf zeichnende Röntgenröhren (d. h. solche mit größerem Fokus) zu verwenden.

In einer Beziehung gebührt dem Hochspannungsgleichrichter dagegen der Vorzug vor dem Induktor; er bedarf auch bei den kurzzeitigen Aufnahmen keiner Ventile. Da es aber in neuerer Zeit Ventile von sehr guter Wirkung und großer Konstanz gibt, ist dieser Vorzug heute nicht mehr von wesentlicher Bedeutung.

In seiner Arbeit: „Über eine Einrichtung zur Erzeugung hochgespannten Gleichstromes im Anschluß an eine Wechsel- oder Gleichstromquelle" (Annalen der Physik [4] **14**, S. 547, 1904), hat F. J. Koch

das Prinzip seines Röntgentransverters ausführlich beschrieben. Fig. 569 stellt das Stromschema des letzteren dar. Es bedeutet W eine Wechselstromquelle, z. B. den Anschluß an ein Wechselstromnetz, P die Primär- und S die Sekundärwicklung eines Hochspannungstransformators, R den aus einem Metallstab bestehenden rotierenden Hochspannungsschalter. Dieser muß genau synchron mit dem Wechselstrom rotieren, d. h. wenn der in die Röntgenröhre zu schickende Strom gewünschter Richtung in der Sekundär-Wicklung S verläuft, hat R die beiden Klemmen K_1 und K_2 miteinander zu verbinden. Damit nun der ungewünschte, entgegengesetzt gerichtete Strom nicht entstehen kann, muß sich bei ungewünschter Spannung der Hochspannungsschalter in der punktiert gezeichneten Stellung R_1 befinden. Zwischen K_1 und K_2 ist dann ein so großer Luftzwischenraum, daß ein Strom nicht übergehen, also auch nicht durch die Röhre fließen kann. Der synchrone Lauf des Hochspannungsschalters ist ohne weiteres zu erzielen, wenn letzterer mit der Achse der den Wechselstrom erzeugenden Dynamomaschine gekoppelt werden kann. Ist dies nicht möglich, so ist ein besonderer kleiner Wechselstrom-Synchron-Motor zum Antrieb des Hochspannungsschalters notwendig.

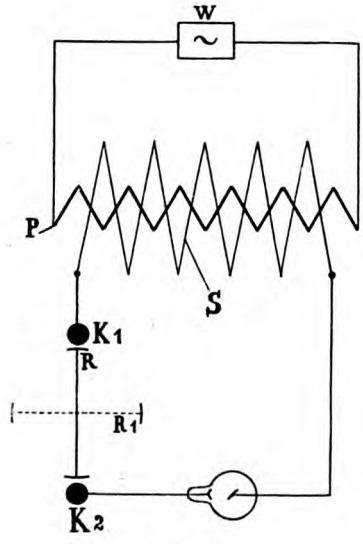


Fig. 569.
Stromschema des einfachen Röntgentransverters nach Koch.

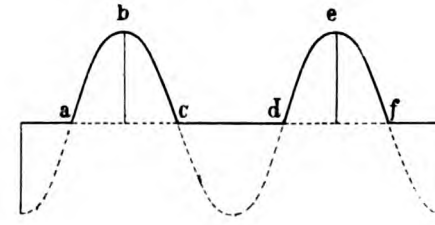


Fig. 570.
a b c, d e f Halbwellen des Wechselstromes.

Während bei der beschriebenen Anordnung nur die in einer Richtung verlaufenden Halbwellen a b c, d e f, etc. (Fig. 570) des auf hohe Spannung transformierten Wechselstromes verwendet werden, haben Koch und Sterzel (Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. VIII, S. 271, 1905) eine Schaltung veröffentlicht, welche die beiden Phasen des Wechselstromes ausnützt und zwar derart, daß die eine in gewünschter Richtung verlaufende Phase unmittelbar durch die Röntgenröhre fließt, die andere — von ungewünschter Richtung — durch einen Hoch-

spannungsumschalter erst gewendet wird, dadurch also auch in gewünschter Richtung verläuft.

Koch verwendete für seinen Röntgentransverter einen eisengeschlossenen Hochspannungstransformator (s. S. 817), da er hierdurch mit relativ kleinen Apparaten größere Energien erzielen konnte als mittels Induktorien mit offenem magnetischen Kreis.

Der Koch- und Sterzelsche Hochspannungsgleichrichter hatte in den ersten Jahren nur relativ wenig Eingang in die praktische Röntgenologie gefunden; erst als der amerikanische Elektriker H. C. Snook (Philadelphia) nach ganz ähnlichem Prinzip gebaute Maschinen herstellte und verschiedene andere in- und ausländische

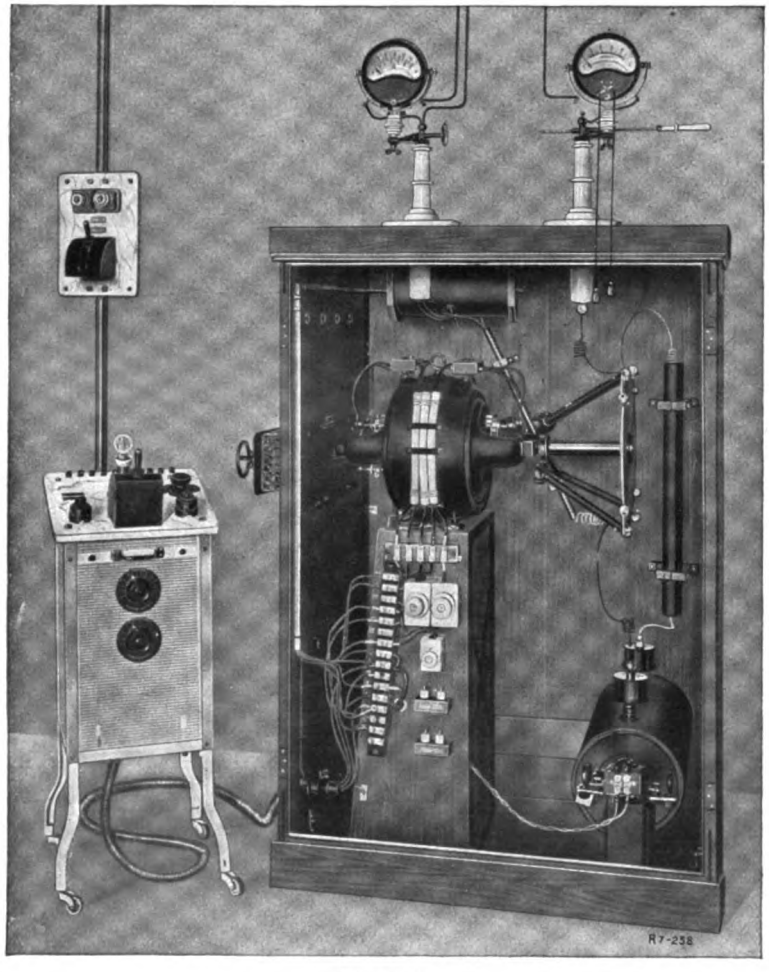


Fig. 571.
Dia-Transverter-Röntgeneinrichtung von Koch u. Sterzel für diagnostische Zwecke.

Firmen gleichartige Apparate bauten (nachdem das Kochsche Patent verfallen war), wurden sie unter den verschiedensten Namen, als Snook-, Ideal-, Eresco-, etc. Apparat praktisch vielfach angewendet.

Fig. 571 zeigt die neueste Form der

Dia-Transverter-Einrichtung

(Koch und Sterzel) bei geöffneter Schranktür. Ihre Wirkungsweise ist leicht aus Fig. 572 zu erkennen. Die Gleichrichtung der beiden

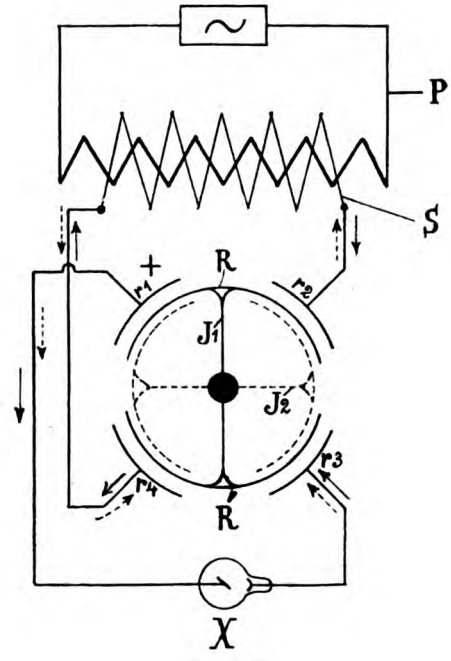


Fig. 572.
Stromschema des Dia-Transverters.

Phasen geschieht mittels zweier Metallsegmente R und R′, die sich an einer aus Isoliermaterial bestehenden Scheibe J_1 befinden und welche bei ihrer Rotation die vier feststehenden Segmente r_1, r_2, r_3, r_4 jeweils so miteinander verbinden, daß die Röntgenröhre X dauernd von Stromstößen gleicher Richtung durchflossen wird. Es ist dies ohne weiteres ersichtlich, wenn man das Stromschema in Fig. 572 verfolgt. (Die ausgezogenen Pfeile zeigen den Verlauf der einen Halbwelle bei der Lage J_1 der die rotierenden Segmente tragenden Scheibe, die gestrichelten denjenigen der anderen Halbwelle bei der Lage J_2). Da bei der beschriebenen Anordnung die beiden Halbwellen gleichgerichtet werden, wird der gesamte Strom in die Röntgenröhre geleitet.

Dies ist wohl für manche Zwecke (Schnellaufnahmen), aber nicht für alle empfehlenswert. Deshalb wurden Vorrichtungen vorgesehen, mittels welcher es ermöglicht wird, auf Wunsch nur die Hälfte der Stromstöße durch die Röntgenröhre zu leiten.

Um verschieden hohe elektrische Spannungen erhalten zu können, besitzt der Transformator des Transverters mehrfach unterteilte Primärwicklung.

Da die vier feststehenden und die zwei rotierenden Segmente in einer Ebene liegen, nimmt dieser Apparat (Uniplantransverter) bei relativ hoher Leistungsfähigkeit nur wenig Raum ein.

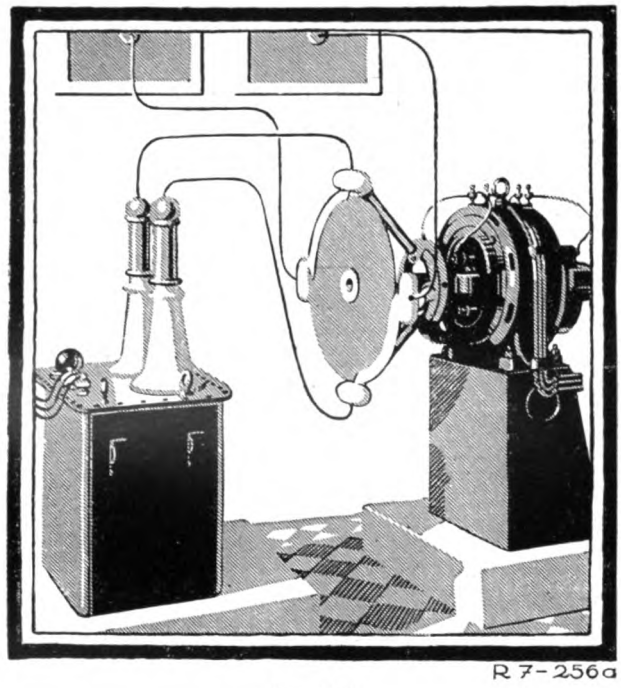


Fig. 573.
Radio-Transverter.

Neuerdings stellen Koch & Sterzel für Intensiv-Tiefentherapie den „Radio-Transverter" unter Verwendung eines technischen Öltransformators und eines besonders konstruierten Hochspannungs-Gleichrichters her, welcher bei geringer Funkenbildung hohe Spannungswerte ermöglicht. Fig. 573 gibt den Radio-Transverter wieder, der — offen — in einem eigenen Maschinenraum aufgestellt ist. Er ist sowohl für Intensiv-Tiefentherapie als für Kurzzeit-Aufnahmen bestimmt.

Ein ähnlicher Hochspannungsgleichrichter ist der

Ideal-Apparat

von Reiniger, Gebbert & Schall. Eine neuere Ausführungsform des-

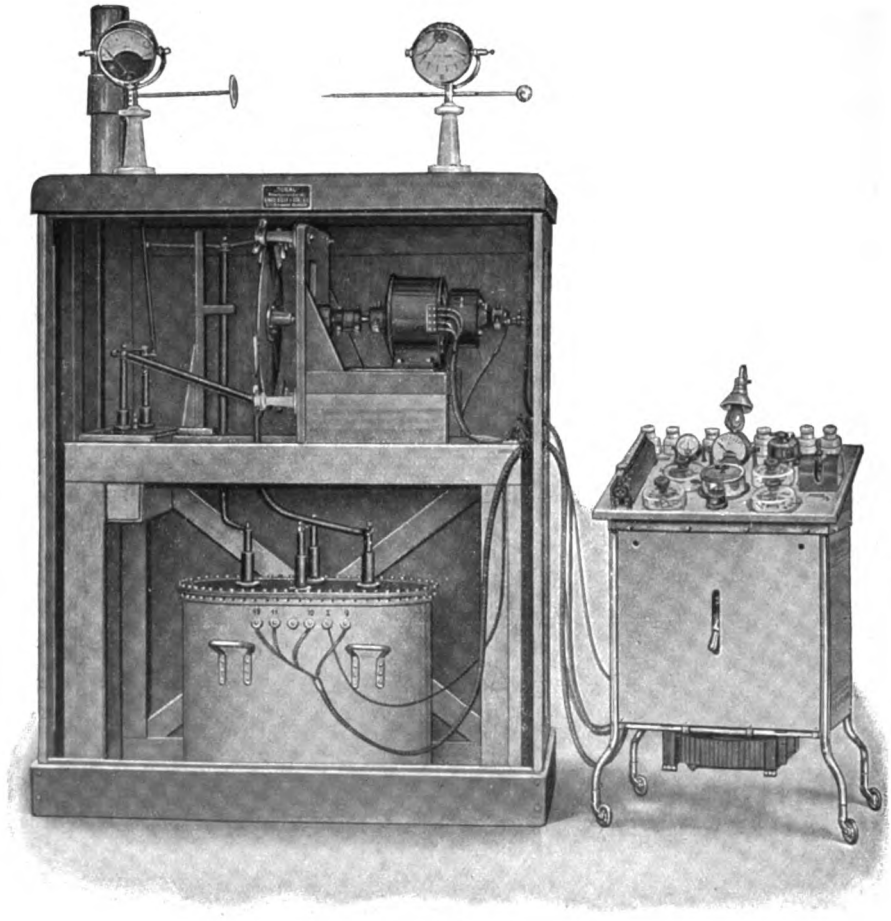


Fig. 574.
Weichstrahl-Ideal-Apparat von Reiniger.

selben zeigt Fig. 574, sein Schaltungsschema Fig. 575. Dieser sog. „Weichstrahl-Apparat" dient speziell der Röntgen-Diagnostik.

Auch die übrigen Hochspannungsgleichrichter sind im Prinzip dem Koch & Sterzel'schen Transverter ähnlich. So z. B. der Siemens'sche Multivoltapparat (Fig. 558, s. S. 842), der Neo-Intensiv-Apparat von

Veifa (Fig. 560, s. S. 843) etc. Bei den letztgenannten besteht das Gleichrichter-Organ nicht aus rotierenden Segmenten, sondern aus rotierenden Nadelpaaren.

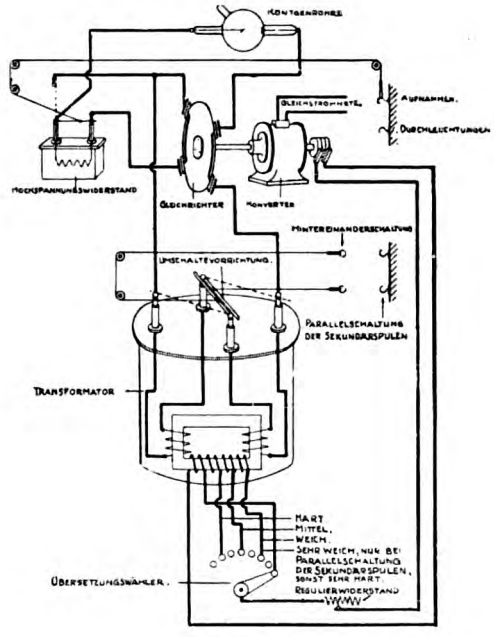


Fig. 575.
Schaltungsschema des Ideal-Apparates.

Es möge nur noch erwähnt werden, daß bei dem

Eresco-Universal-Gleichrichter

(Seifert) einige der feststehenden Segmente umklappbare Enden besitzen, sodaß die Zeitdauer des Stromüberganges vom rotierenden zum feststehenden Teil nach Belieben kürzer oder länger und dementsprechend auch die Breite der Stromkurve größer oder kleiner gewählt werden kann.

Die Hochspannungsgleichrichter lassen sich ohne weiteres für den Doppelröhrenbetrieb verwenden, indem die eine Halbwelle nach der einen, die andere nach der zweiten Röhre geleitet wird. Die Teilung des Stromes läßt sich noch weiter vornehmen, also z. B. Vier-Röhrenbetrieb ermöglichen dadurch, daß man mittels geeigneter Abnahmevorrichtungen die erste Halbwelle nach der ersten Röhre leitet, die zweite, dritte, vierte Halbwelle nach der zweiten, dritten, vierten Röhre etc., hierauf die fünfte wieder zur ersten Röhre, die sechste zur zweiten usw.

C. Die unterbrecherlosen Apparate ohne mechanischen Hochspannungsgleichrichter.

Um die Nachteile des rotierenden Schalt-Apparates der Hochspannungsgleichrichter zu vermeiden, hat F. J. Koch im Jahre 1905

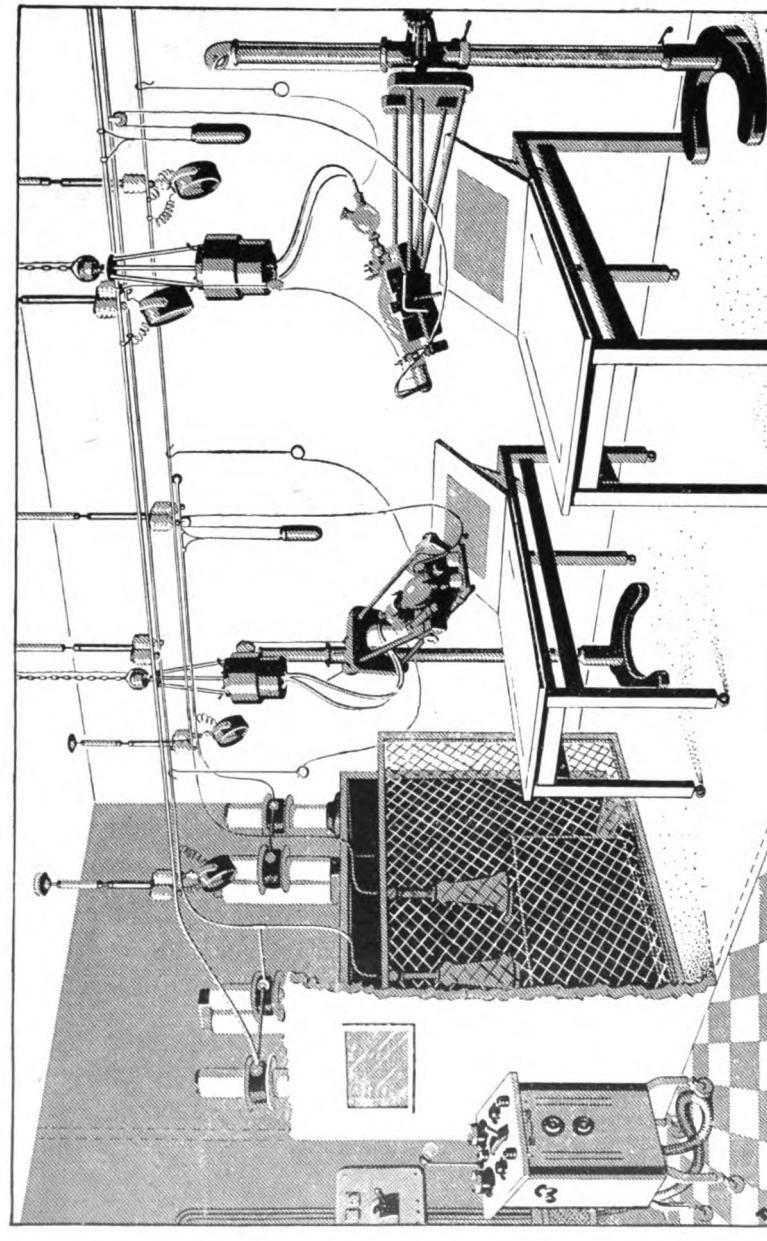


Fig. 576.
Radio-Silex-Apparat von Koch & Sterzel.

eine sinnreiche Schaltung angegeben. Mit Hilfe einer Grätzschen Ventil-Zelle, die parallel zur Primärwicklung eines eisengeschlossenen Hochspannungstransformators geschaltet wird, kann die eine Phase des hochgespannten Wechselstroms zu einem großen Teil unterdrückt werden. Die noch verbleibende geringe Spannung ungewünschter Richtung wird durch eine der Röntgenröhre vorgeschaltete Ventilröhre unschädlich gemacht. Später haben Koch und Sterzel dieses Prinzip in Verbindung mit einem Glühkathodenventil in ihrem Thermion-Apparat verwendet, dem dann der

Radio-Silex-Apparat

folgte. Ursprünglich wurde bei diesem statt des meist angewandten 50periodigen Wechselstromes ein solcher von 500 Perioden benutzt, der in einer besonderen Wechselstrommaschine erzeugt wurde. Später haben Koch und Sterzel in ihrem Modell 23 (Fig. 576) wieder die übliche

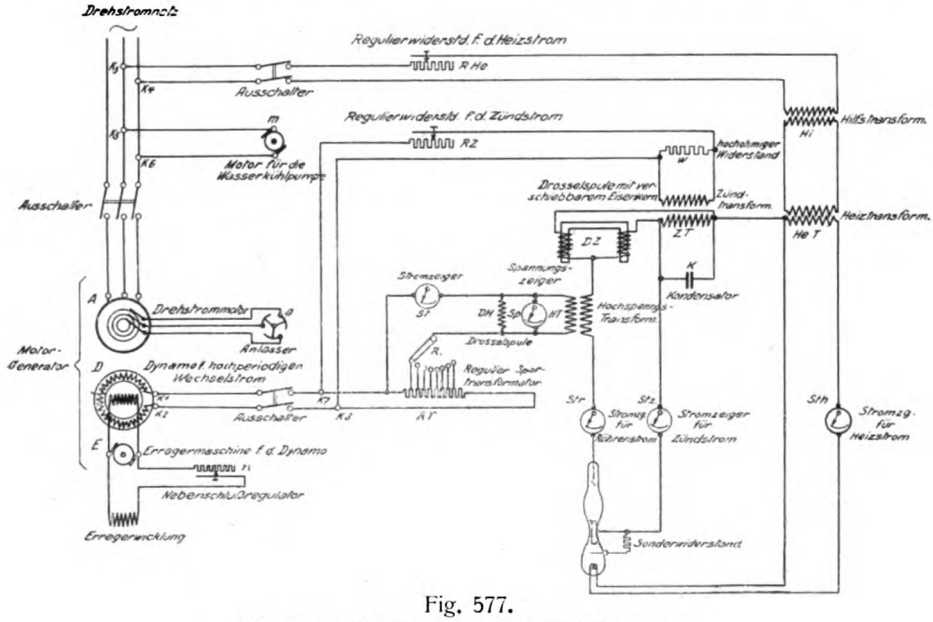


Fig. 577.
Schaltungsschema des Radio-Silex-Apparates.

Periodenzahl gewählt. Die Unterdrückung der einen Phase des hochgespannten Wechselstromes erfolgt durch die Glühkathode der Lilienfeld-Röntgenröhre selbst (s. S. 894). Zum Betrieb der letzteren wird außer einem großen Öltransformator ein Zündtransformator und ein Heiztransformator verwendet. Der Radiosilex-Apparat wird auch von Siemens hergestellt. Ein Schaltungsschema dieses Apparates für Anschluß an Drehstrom ist in Fig. 577 wiedergegeben.

Einen unterbrecherlosen Röhrenbetrieb mit 4 Ventilröhren, welche in Grätz'scher Schaltung hochgespannten Wechselstrom gleichrichteten, hat Ruhmer angegeben. Später wurde von Siemens das

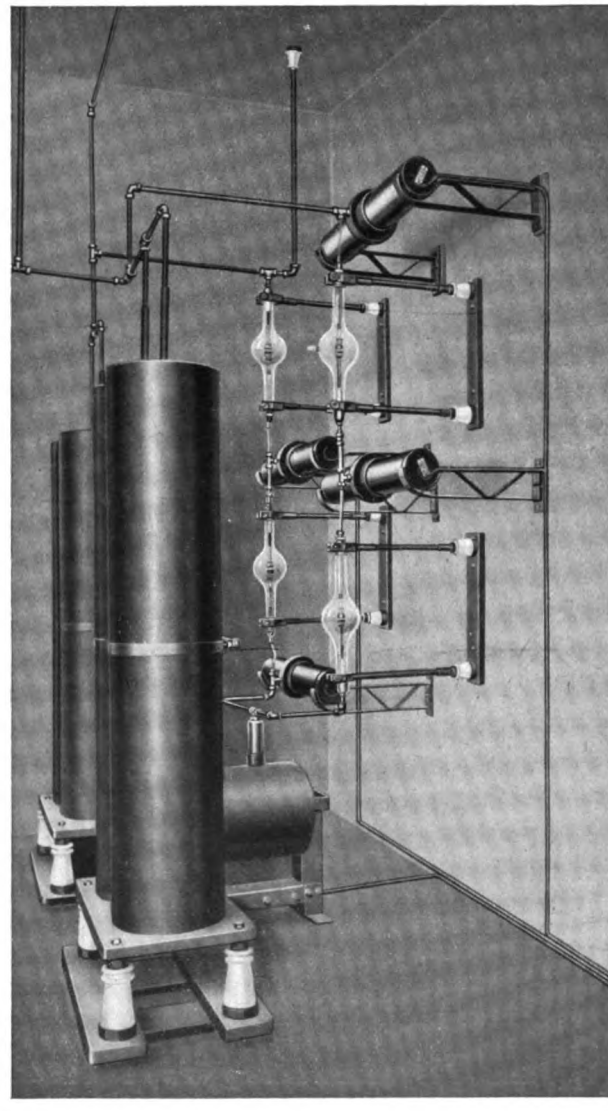


Fig. 578.
Stabilivolt-Apparat von Siemens & Halske.

Gleiche mit Glühkathoden-Ventilröhren ausgeführt (s. Lasser, Berliner Klin. Wochenschr. 1916, S. 336). Neuerdings hat Siemens in der

Stabilivolt-Einrichtung

(Fig. 578) unter Verwendung eines Hochspannungstransformators, zweier Paare großer Kondensatoren K_1 und K_2 und zweier Paare von Glühventilen V_1 und V_2 sowie 6 Heiztransformatoren H, H_1, H_2 nahezu

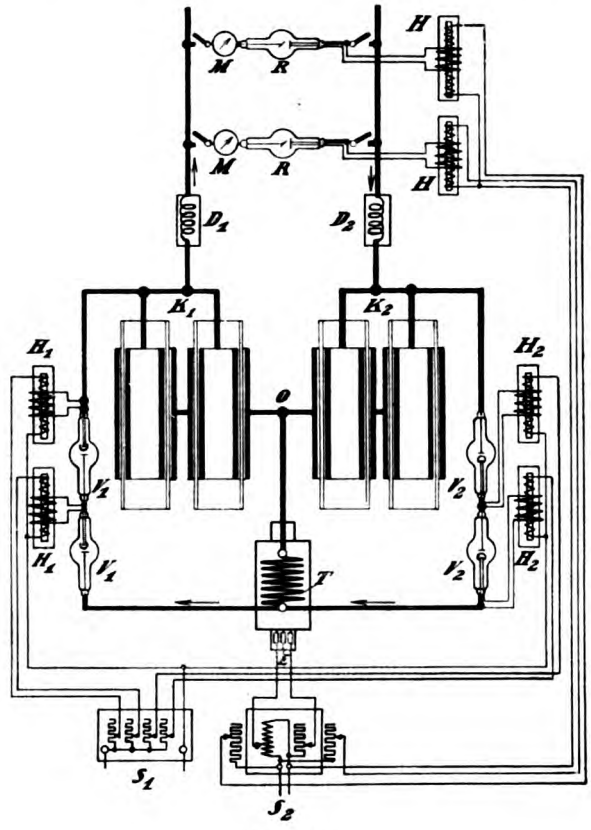


Fig. 579.
Schaltungsschema des Stabilivolt-Apparates.

konstante Gleichspannung bis 250 Kilovolt erzielt (zum Betrieb zweier Coolidge-Röhren R). Das Schaltungsschema dieser Einrichtung zeigt Fig. 579.

Die Verwendung eines großen Kondensators im Sekundärstromkreis zur Erzielung von konstanter Gleichspannung wurde bereits von Des Coudres (s. S. 852) angegeben. Außer in Verbindung mit Ventilröhren — wie im Stabilivolt-Apparat — werden derartige große Kondensatoren auch in Verbindung mit Hochspannungsgleichrichtern als sog. Gleichspannungs-Apparate verwendet.

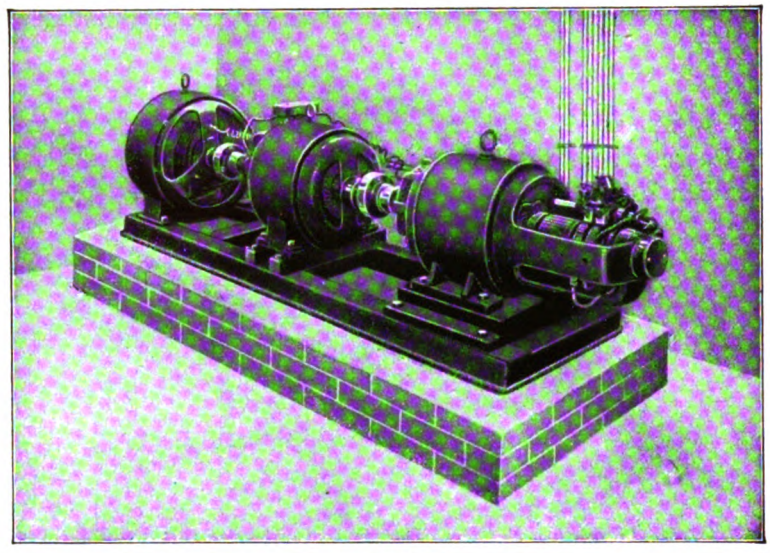


Fig. 580. Stoßstrom-Generator der Hartstrahl-Maschine von Sanitas.

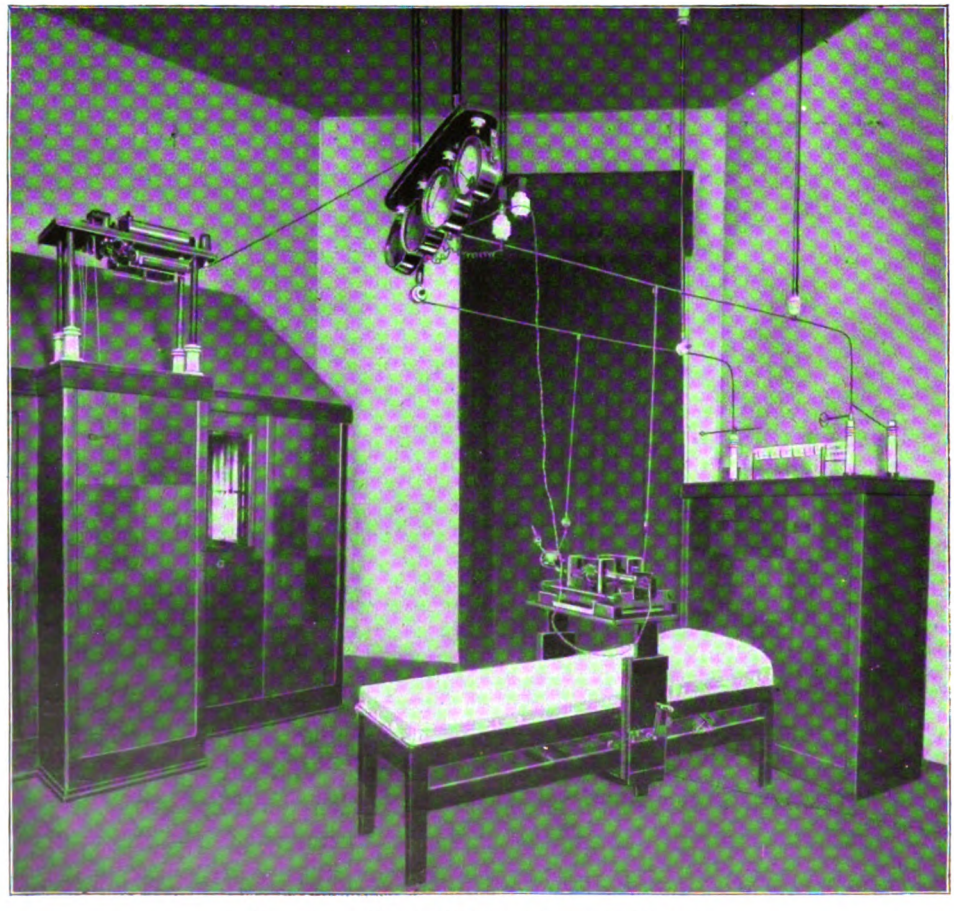


Fig. 581. Hartstrahl-Apparatur von Sanitas.

Von den vorstehenden unterbrecherlosen Röntgenapparaten ohne mechanischen Hochspannungsgleichrichter unterscheiden sich die Hochspannungsmaschinen von Villard, von Boas und die

Röntgen-Maschine „Hartstrahl"

der Sanitas-Gesellschaft sehr wesentlich. Sie beruhen darauf, daß durch eine besonders konstruierte Dynamomaschine unsymmetrischer Wechselstrom (Stoßstrom) solcher Art erzeugt wird, daß dieser, in einen Hochspannungs-Transformator geleitet, Hochspannungsströme erzeugt, welche in der einen Richtung bedeutend höhere Spannung zeigen als in der anderen. Besonders empfehlenswert ist es hierbei, wassergekühlte Glühkathodenröhren zu verwenden, welche die noch vorhandene geringe Spannung ungewünschter Richtung unschädlich machen. Fig. 580 zeigt den Stoßstrom-Generator der Hartstrahl-Maschine (Sanitas), der außerhalb des Röntgenzimmers aufgestellt wird, und Fig. 581 die Hartstrahl-Röntgen-Anlage selbst mit Glühkathoden-Röhre.

Endlich sollen hier noch zwei heute wohl nur mehr wenig verwendete Apparat-Typen kurz besprochen werden, die Kondensator-Apparate und der Eresco-Stromschließer, die im Gegensatz zum gewöhnlichen, mit Unterbrecher betriebenen Induktorium nicht den Öffnungs-, sondern den Schließungs-Induktionsstrom zur Speisung der Röntgenröhre benützen.

Der erste

Kondensator-Apparat

dürfte von Norton & Lawrence angegeben worden sein. Fig. 582 zeigt das Prinzip des Apparates. J ist ein Induktor, C ein Kondensator von großer Kapazität, U ein im Primärstromkreis liegender, rotierender Umschalter, der in der dargestellten Lage die Stromquelle E mit dem Kondensator C verbindet, so daß letzterer geladen wird. Hat sich der Umschalter um eine halbe Umdrehung gedreht, so ist die Stromquelle E nur noch mit der einen Belegung des Kondensators verbunden, dagegen wird dann

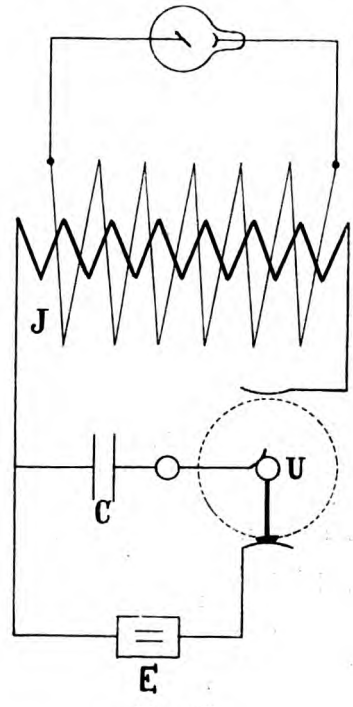


Fig. 582.
Stromschema des Kondensator-apparates von Norton u. Lawrence.

C mit J hintereinander geschaltet. Hierdurch entlädt sich der Kondensator durch die Primärwicklung des Induktors und dieser Primärstrom erzeugt in der Sekundärwicklung einen Schließungs-Induktionsstrom, der in die Röntgenröhre geleitet wird. Nach einer weiteren halben Umdrehung des Umschalters erfolgt wieder Aufladung

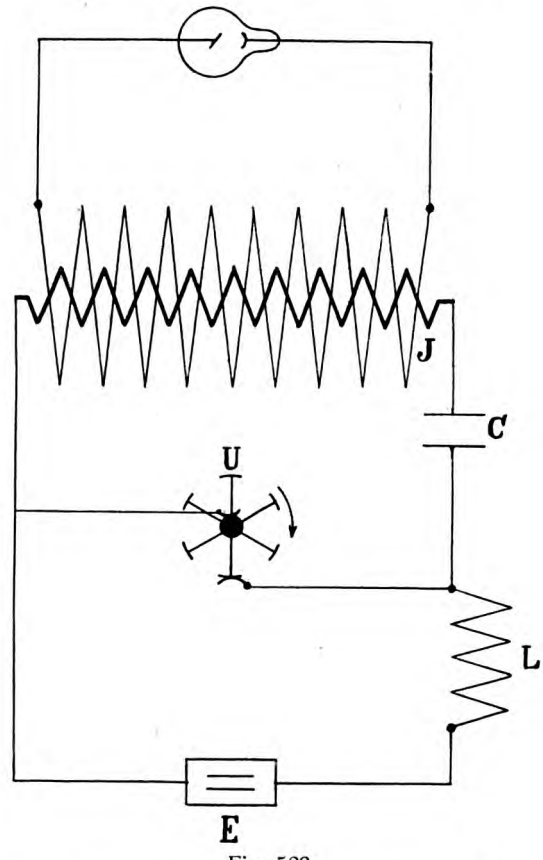


Fig. 583.
Stromschema des Kondensator-Apparates von Tesla.

des Kondensators usw. Tesla benützte einen rotierenden Schalter mit mehreren Kontakt-Segmenten U (Fig. 583) und legte an den einen Pol der Stromquelle eine Selbstinduktionsspule L, um den Kondensator mit höherer Spannung aufzuladen und dadurch die Wirkung zu vergrößern.

Ein in Deutschland früher viel verwendeter Kondensator-Apparat ist der

„Grissonator"

(von Grisson angegeben), dessen Stromlauf-Schema aus Figur 584 ersichtlich ist. Nachdem die Gleichstromquelle E den Kondensator C

aufgeladen hat, was nur sehr kurze Zeit dauert, schließt der Umschalter, wenn er die in der Figur dargestellte Lage einnimmt, den geladenen Kondensator mit den Enden der Primär-Spule des Induktors und der Stromquelle hintereinander (doppelte Spannung!). Der Kondensator entlädt sich also plötzlich durch die Primärwicklung und erzeugt dadurch den zu verwendenden Schließungs-Induktionsstrom. Hat sich der Umschalter U um 90° gedreht, sodaß er also die beiden oberen bezw. die beiden unteren Schleifkontakte miteinander verbindet, so wird der Kondensator C von E wieder geladen und bei weiterer Drehung von U um 90° wieder durch die Primärwicklung entladen etc.

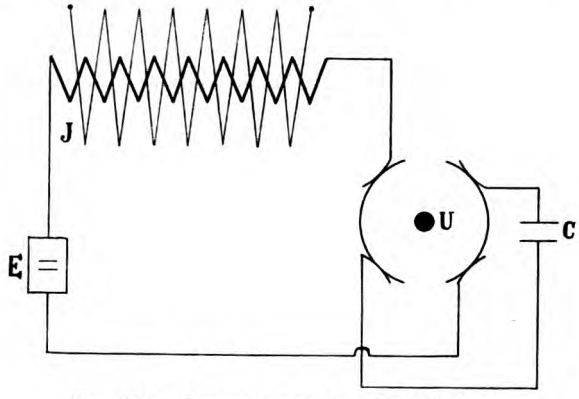


Fig. 584. Stromschema des Grissonators.

Bei jeder vollen Umdrehung von U wird C somit 2 mal geladen und entladen.

Während bei den oben erwähnten Kondensatorapparaten nur Ladung und Entladung des Kondensators erfolgt, wird beim Grissonator auch eine Umladung des Kondensators vorgenommen, wodurch die wirksame Stromstärke (bei gleicher Betriebsspannung von E) verdoppelt wird.

Je größer der Kondensator ist und je öfter er in der Zeiteinheit ge- und entladen wird, desto stärker wird — bei gleicher Spannung der Stromquelle — der Sekundärstrom. Durch entsprechende Vergrößerung des Kondensators kann man somit außerordentlich starke Schließungsinduktionsströme erzeugen. Natürlich tritt bei der Entmagnetisierung der Primärspule auch eine Öffnungsspannung ungewünschter Richtung an der Sekundärspule auf, die aber relativ gering ist.

Da die üblichen, trockenen Kondensatoren (s. S. 818), wenn sie entsprechend groß gewählt werden, sehr viel Raum einnehmen und sehr kostspielig sind, verwendete Grisson als Kondensator eine elektrolytische Zelle (mit großen Aluminiumelektroden), welche im Verhältnis

zu ihrem Umfang außerordentlich große Kapazität besitzt und auch billig herzustellen ist.

Der

Eresco-Stromschließer

(Fig. 585) benützt ebenso wie die Kondensator-Apparate den Schließungsinduktionsstrom. Zu diesem Zwecke wird die Schließung des Primärstromes sehr rasch vorgenommen, während die Öffnung langsam erfolgt. Dies wird dadurch ermöglicht, daß der Primärstrom vom Maximalwert bis Null infolge allmählicher Zuschaltung einer großen Zahl von Widerständen langsam abnimmt und, nachdem er den Wert Null erreicht hat (geöffneter Stromkreis), plötzlich kurz geschlossen wird. Die Widerstände e und f sind auf einer Trommel angeordnet und werden, wenn diese rotiert, allmählich in den Stromkreis eingeschaltet. Durch die Bürsten C und das Verbindungsstück d wird der Primärstrom bei der in Fig. 585 gezeichneten Stellung der Trommel rasch geschlossen und erst wieder nach einer halben Umdrehung der Trommel,

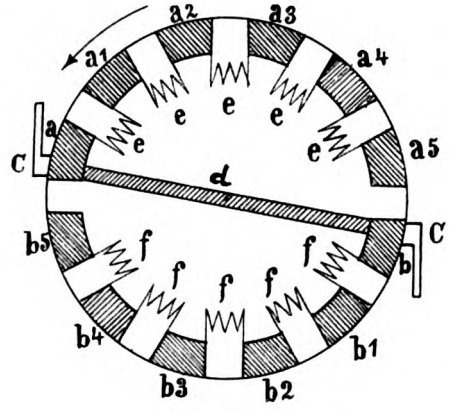


Fig. 585.
Stromschema des Eresco-Stromschließers.

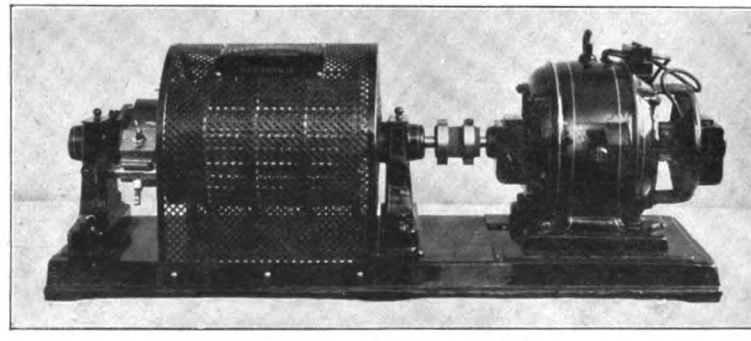


Fig. 586. Eresco-Stromschließer.

nachdem also sämtliche Widerstände e allmählich eingeschaltet worden sind, geöffnet, um sofort darnach wieder plötzlich geschlossen zu werden. Da die Schließung sehr schnell und die Öffnung relativ langsam erfolgt, bedarf der Eresco-Stromschließer — im Gegensatz zu den Platin- und Quecksilber-Unterbrechern — keines Kondensators. Fig. 586 zeigt die äußere Ansicht des Eresco-Stromschließers (Seifert).

Auch die

Hochfrequenz-Apparate

haben für die praktische Röntgenologie keine größere Bedeutung gewonnen.

Einer der ersten, der diese zur Erzeugung von Röntgenstrahlen anwandte, dürfte wohl W. König (Jahresber. d. Physik. Ver. Frankfurt a. M. 1895/96, S. 64) gewesen sein; er benutzte die Tesla-Anordnung für Röntgenzwecke schon anfangs 1896. Im gleichen Jahre habe auch ich einen Röntgen-Tesla-Apparat (Reiniger) konstruiert. Bei Untersuchungen mit diesem konnte ich konstatieren, daß die Röntgenstrahlenausbeute, welche mit einem ganz kleinen Induktorium zu erzielen ist, durch Zwischenschaltung einer Tesla-Anordnung sehr bedeutend erhöht, daß also der Röntgenstrahlen-Wirkungsgrad wesentlich verbessert werden kann. (Verh. d. Ges. d. deutsch. Naturf. u. Ärzte 1896, S. 74, und Sitzungsbericht d. phys.-med. Sozietät zu Erlangen 1896.)

Während bei den genannten Apparaten die Hochfrequenzspule mit den beiden Polen der Röntgenröhre verbunden war (bipolarer Anschluß) hat Pflüger 1897 gezeigt, daß eine Röntgenröhre auch gut funktioniert, wenn man nur ihre Kathode mit einem der Hochspannungspole der Tesla-Spule verbindet, während die Antikathode bzw. Anode ohne Verbindung bleibt. Erst 12 Jahre später wurden derartige Apparate mit unipolarem Anschluß der Röntgenröhre von der Hamburger „Polyfrequenz"-Gesellschaft nach Angabe von Professor Peukert ausgeführt, und zwar unter Verwendung einer Wienschen Löschfunkenstrecke.

1911 endlich stellte Siemens (K. Bangert, Verhandl. d. deutsch. Röntgen-Ges. Bd. VII, S. 168, 1911) ganz ähnliche Apparate her, die sich aber ebensowenig wie die vorgenannten in die Röntgenpraxis einführen konnten. Es soll deshalb hier nicht näher auf die Hochfrequenz-Apparate eingegangen werden.

D. Die Influenzmaschine

wird nur selten zum Betrieb von Röntgenröhren verwendet. Die Energie, welche sie liefern kann, ist relativ gering. Besonders zu erwähnen sind die Starkstrom-Influenz-Maschine von Wehrsen und die von der Elektros-Gesellschaft hergestellten Wommelsdorfschen Influenz-Maschinen. Wenn auch die Leistungsfähigkeit dieser Apparate im Vergleich zu den früheren wesentlich zunahm, so steht sie doch immer noch ganz bedeutend hinter derjenigen der modernen Röntgenapparate zurück.

II. Die Röntgenröhre.

Im Kapitel „Praktische Röntgenphysik" Bd. I, S. 15ff. wurde bereits erwähnt, daß es zwei Arten von Röntgenröhren gibt, die gashaltigen (Ionen-Röhren) und die gasarmen (Elektronen- oder Glühkathoden-Röhren). Dort wurde auch der wesentliche Unterschied beider und der verschiedenartige Vorgang der Elektrizitätsleitung in den beiden Röhrenarten auseinandergesetzt. Im folgenden kann ich mich daher darauf beschränken, eine Anzahl von Röhrenkonstruktionen zu beschreiben, die in der praktischen Röntgenologie Anwendung fanden und einige allgemeine Gesichtspunkte hervorzuheben, welche bei der Herstellung und Verwendung der Röntgenröhren besonders zu beachten sind. Von der außerordentlich großen Zahl der verschiedenen Ausführungsformen können natürlich nur einige typische angeführt werden. Hierbei soll auch auf die geschichtliche Entwicklung der Röntgenröhre, die in der ersten Auflage des Lehrbuches ausführlicher behandelt wurde, wenigstens einigermaßen Rücksicht genommen werden.

A. Gashaltige Röntgenröhren (Ionen-Röhren).

Lange bevor Röntgen die nach ihm benannten Strahlen entdeckte, benützte man in den physikalischen Laboratorien häufig schon Vorrichtungen, welche Röntgenstrahlen erzeugten, ja man arbeitete lange Zeit mit diesen Strahlen, ohne daß man sich dessen bewußt war. Die von der Antikathode ausgehenden, vielfach untersuchten Strahlen hatte man nur als diffus reflektierte bzw. neu emittierte Kathodenstrahlen betrachtet, und nie an die Möglichkeit gedacht, daß neben diesen auch noch ganz andere Strahlen auftreten, deren Eigenschaften von denjenigen der bekannten Kathodenstrahlen wesentlich abweichen. Die Vorrichtung, welche die Röntgenstrahlen liefert, ist also schon viel älter als unsere Erkenntnis der letzteren selbst.

Unsere heute allgemein angewandte Röntgenröhrenform mit metallischer Antikathode inmitten einer Glaskugel wurde schon lange vor der Röntgenschen Entdeckung zur Ausführung eines bekannten Vorlesungs-Experimentes benützt, nämlich zum Nachweis der Wärmewirkung, welche die Kathodenstrahlen ausüben, wenn sie auf eine dünne Platinplatte (Fig. 587)

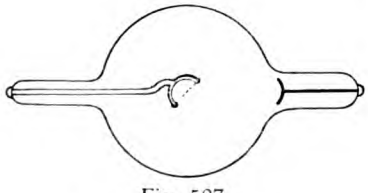


Fig. 587.
Kathodenstrahlröhre.

fallen; infolge der absorbierten Kathodenstrahlen-Energie konnte das Platin zur hellen Weißglut gebracht werden. —

Die erste von Röntgen benützte Röhre, deren Antikathode die Glaswand selbst bildete, wurde Bd. I, S. 16 bereits beschrieben, desgleichen die heute durchwegs verwendete Röntgenröhre mit metallischer Antikathode, die schon anfangs 1896 eingeführt worden war; mit dieser war es erst möglich, scharfe Röntgenbilder zu erzeugen. Zu jener Zeit war das Evakuieren der Röntgenröhren noch weit umständlicher und unsicherer wie heute; ganz besonders große Schwierigkeiten bereitete die Entlüftung der Metallteile, vor allem der Antikathode. Diese Entlüftung war notwendig, da andernfalls nach kurzem Gebrauch das Vakuum der Röntgenröhre sich so stark erniedrigt hätte, d. h. die Röhre so weich geworden wäre, daß die erzeugten Röntgenstrahlen die Glaswand der Röntgenröhre nicht mehr durchdrungen hätten. Aus diesem Grunde war zu jener Zeit erste Bedingung in der Röntgenröhren-Fabrikation, die Metallteile, besonders die Antikathode, möglichst leicht zu machen. Diese

Röhren mit metallarmer Antikathode

durften nur verhältnismäßig schwach belastet werden, da sonst die Antikathode sich so stark erhitzt hätte, daß ein Schmelzen derselben, und damit eine Zerstörung der Röntgenröhre, die Folge gewesen wäre. Aber auch schon unterhalb dieser zerstörenden Belastung der Röntgenröhre, wenn die Antikathode nicht zum Schmelzen, sondern nur zum Glühen gebracht wurde, konnte leicht eine Schädigung der Röhre eintreten. Das Platin der glühenden Antikathode wird nämlich durch die elektrischen Entladungen stark zerstäubt; das feinverteilte, an der Glaswand sich niederschlagende Metall okkludiert die geringen im Inneren der Röntgenröhren noch vorhandenen Gasreste, wodurch die Röhre so hart wird, daß die Entladungen nicht mehr durch sie hindurch gehen, sondern außerhalb — ihrer Wandung entlang — verlaufen, sodaß die Röhre natürlich unbrauchbar wird.

Ich habe deshalb schon im Jahre 1896 (Physikal. Sekt. d. 68. Vers. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Frankfurt a. M. 1896, S. 75) vorgeschlagen, eine Reguliervorrichtung an der Röntgenröhre anzubringen, mittels welcher das Vakuum wieder auf die gewünschte Höhe gebracht werden kann.

Wenn auch durch derartige, heute allgemein angewendete Vorrichtungen die Lebensdauer der Röntgenröhre erhöht werden konnte, so war die Belastbarkeit der Röhre doch immer noch eine relativ geringe. Dies veranlaßte mich, das seinerzeit allgemein angewendete Prinzip der „metallarmen“ Antikathode zu verlassen — was zu

jener Zeit ein kühnes Unternehmen war — und stellte schon anfangs 1897 zum erstenmal

Röhren mit metallreicher Antikathode

her; letztere bestand aus einem massiven Kupferklotz mit aufgewalztem Platinblech. Gleichzeitig wählte ich, statt der einfachen Glaskugel-, die Doppelkugelform Fig. 588. Durch letztere konnte das Volumen der Röhre und damit die Konstanz des Vakuums wesentlich vergrößert werden, ohne daß der Durchmesser der Kugel größer gewählt werden mußte. Diese Röhre, welche ich 1897 konstruierte und Alpha-Röhre nannte, wurde seinerzeit viel angewandt und ergab für die damaligen Verhältnisse hervorragende Resultate.

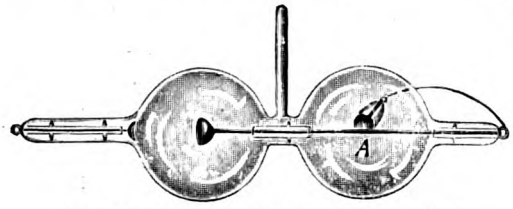


Fig. 588. Alpha-Röhre nach Rosenthal.

Eine spätere, weitverbreitete Röhre dieser Art ist die in Fig. 589 abgebildete Gundelachröhre für Photographie und Durchleuchtung,

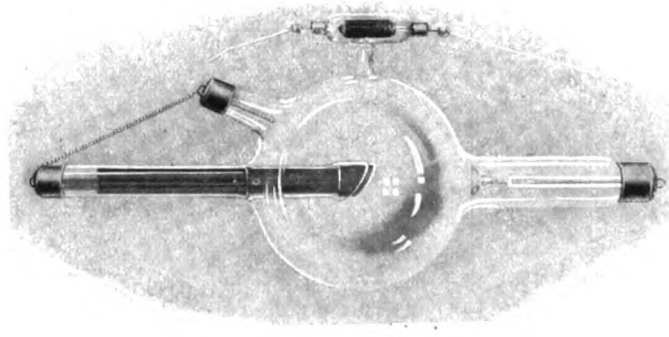


Fig. 589. Gundelachsche Röhre.

bei welcher die massive Antikathode durch ein federndes zylindrisches Blech in einem Ansatz der Röntgenröhre festgehalten wurde.

Das Prinzip der metallreichen Antikathode wurde seitdem fast ausschließlich angewandt; eine Ausnahme bildete für einige Zeit eine Art von Röntgenröhren, die große Bedeutung erlangte, die von B. Walter angegebene und von Müller, Hamburg, hergestellte

Wasserkühl-Röhre

mit Platintopf (Röntgenröhren für starke Beanspruchung, Fortschr. a. d. Geb. d. R. II, S. 222, 1899). Die Wasserkühlung der Antikathode wurde

zwar schon einige Jahre früher von Bréton angewandt, allein praktische Bedeutung gewann sie erst durch die Walter'sche Konstruktion. Bei dieser bestand die Antikathode aus einem dünnwandigen zylindrischen

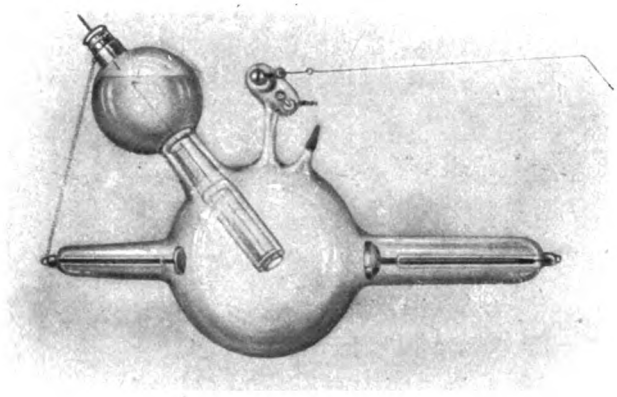


Fig. 590. Müllersche Wasserkühlröhre.

Platingefäß, das an seinem offenen Ende in eine Glasröhre eingeschmolzen war (Fig. 590). Eine zu starke Erhitzung des dünnen Antika-

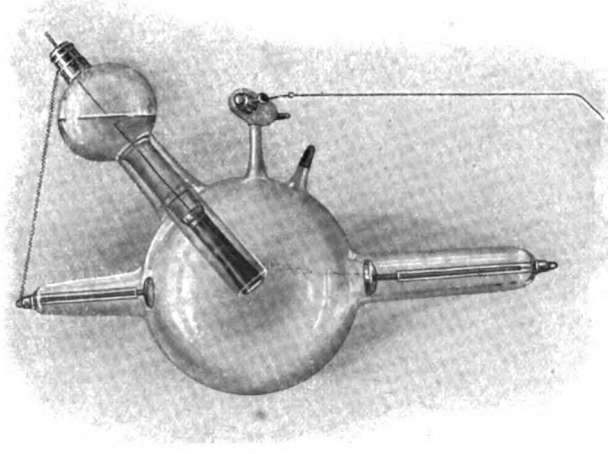


Fig. 591. Rapidröhre.

thoden-Bleches wird hier dadurch vermieden, daß es an seiner Rückseite dauernd von Wasser bespült wird, dessen Verdampfungswärme

bekanntlich sehr groß ist. Um ein Gramm Wasser von 100° in Dampf von gleicher Temperatur zu verwandeln, sind 539 Wärmeeinheiten (Kalorien) notwendig, und deshalb sind diese Wasserkühlröhren sehr gut zur Ableitung der an der Antikathode erzeugten Wärme geeignet, da das Wasser bei Atmosphärendruck nie höhere Temperatur als 100° annehmen kann. Allerdings darf die Erwärmung der Antikathode keine zu starke werden, da sonst das sogenannte Leidenfrostsche Phänomen auftreten würde. Dieses besteht darin, daß sich eine Dampfhülle zwischen Wasser und Platinblech bildet, sodaß das letztere vom Wasser getrennt und durchgeschmolzen werden würde. Deshalb wurde später auch die Wasserkühlröhre mit metallreicher Antikathode versehen — Rapid-Rohr, Fig. 591 (Müller) — und zwar durch Hinterlegung des Platinbleches mit einem schweren Klotz einer Kupferlegierung. Somit werden heute bei Ionenröhren wohl ausschließlich metallreiche Antikathoden verwendet. Bei Elektronenröhren werden dagegen auch metallarme Antikathoden benutzt (s. S. 901).

Da in manchen Fällen die Entleerung des heißen Wassers der Wasserkühlröhren bzw. ihre Nachfüllung unbequem war, haben Albers-Schönberg und Rodde in der

Zangenröhre

die Wärmeableitung statt durch Wasser, durch einen massiven, mit Kühlrippen versehenen Metallstab vorgenommen, der in Form einer federnden Zange in das metallische Antikathodenrohr gesteckt wird. (Müller). Sobald die sich dicht an die Rohrwand anlegende und damit die Wärme aufnehmende Zange heiß geworden war, wurde an ihre Stelle eine andere, kalte eingesetzt, und dies von Zeit zu Zeit wiederholt. Später wurde auch die Zange mittels fließenden Wassers dauernd gekühlt, so daß das Auswechseln vermieden werden konnte.

Der Wunsch nach einer guten Antikathodenkühlung ohne Verwendung von Wasser hat noch eine Reihe anderer Konstruktionen veranlaßt, von welchen nur einige angeführt werden sollen.

Man stellte zunächst die

Röhren mit besonders schwerer Antikathode

her, sodaß ziemlich große Energien verwendet werden konnten, ehe die Antikathode sich so stark erwärmte, daß eine wesentliche Beeinflußung des Vacuums eintrat. So entstanden z. B. die Rosenthal'sche Durchleuchtungs- und Therapieröhre (Fig. 592), die Radiologie-Starkstromröhre usw. Diese Röhren haben den Vorzug, sehr einfach und relativ billig zu sein. Sie reichen für viele Zwecke vollständig aus und sind sehr dauerhaft, wenn man sie nicht mit allzu starken Strömen betreibt.

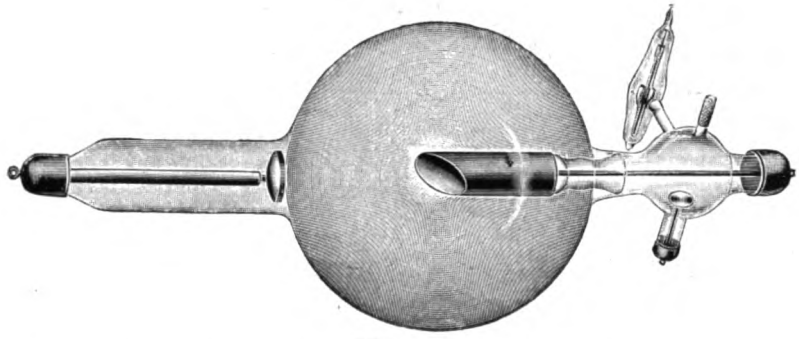


Fig. 592.
Durchleuchtungsröhre mit besonders starker Antikathode nach Rosenthal.

Um die Ableitung der Wärme von der Antikathode noch vollkommener ausführen zu können, ohne sich der Wasserkühlung bedienen zu müssen, wurde in den

Luftkühlröhren

die Rückseite der Antikathode mit einer dicken Metallstange (Kupfer) verbunden, die die Wärme, gewöhnlich unter Verwendung eines Rippenkühlers, an die atmosphärische Luft abgab. Diese Röhren waren wieder

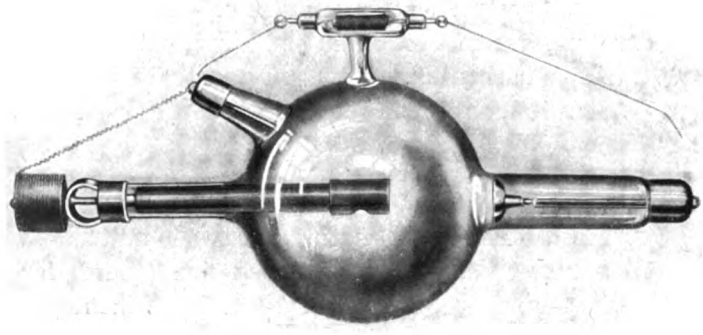


Fig. 593.
Konstant-Röhre und Weichstrahlröhre von Gundelach.

wesentlich teuerer, da bei ihnen die Antikathode — ähnlich wie bei den Wasserkühlröhren — mit Hilfe eines Platinzylinders eingeschmolzen werden mußte. Die Burger-Zentral-Röhre, die Gundelachsche Konstant-Röhre (Fig. 593), die R. G. S.-Effekt-Röhre, die Radiologie-Stabil-

Röhre usw. entstanden auf diese Weise. Diese Röhren haben sich gleichfalls sehr gut bewährt.

Für kurzzeitige Aufnahmen größerer Körperteile, z. B. Schwangerschaftsaufnahmen, war es notwendig, weiche Röhren bei sehr hoher

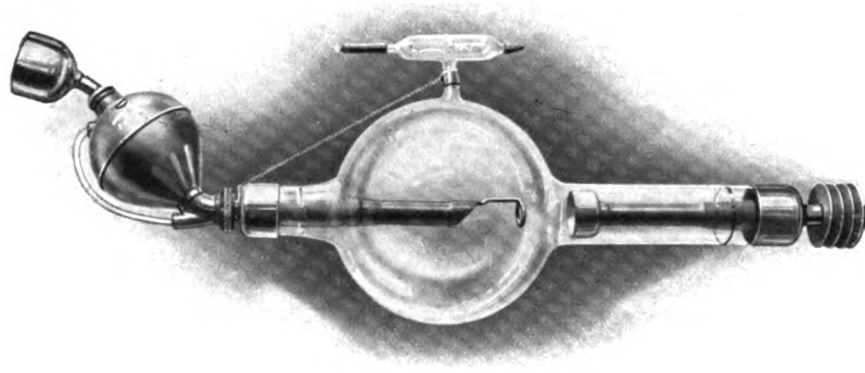


Fig. 594. Kilowatt-Röhre von Müller.

Belastung zu verwenden. Die Gundelach'sche Weichstrahlröhre (Fig. 593), die Müllersche Kilowattröhre (Fig. 594) usw. dienen diesem Zwecke.

Fig. 595. Kühlstab für Wasserkühlröhren.

Infolge der außerordentlich starken und dauernden Belastung, welche die Röntgenröhren bei intensiven tiefentherapeutischen Bestrahlungen auszuhalten haben, hat man weiterhin noch bessere Kühlmittel angewandt. So hatte man bei den

Wasserzirkulations-Röhren

Wasser zirkulieren lassen, und zwar mittels zweier isolierter Gefäße, von welchen das eine (obere) für den Zufluß, das andere (untere) für den Abfluß diente. Beide Gefäße waren durch ein über eine Rolle führendes Seil miteinander verbunden. Sobald das obere Gefäß leer, das untere gefüllt war, wurde das erstere nach unten gezogen, wodurch das gefüllte nach oben kam. Man erzielte so eine Durchströmung des Kühlgefäßes der Röhre und damit eine etwas bessere Wärmeableitung.

Eine wenn auch nicht ganz so vollkommene, so doch immer noch sehr ergiebige Kühlung erreichte man dadurch, daß man die Flüssigkeit nicht in der Röhre selbst, sondern

in einem besonderen metallischen Kühlrohr umlaufen läßt, das in das Wassergefäß einer gewöhnlichen Wasserkühlröhre eingesteckt wird (Kühlstab Fig. 595).

Statt Wasser hatte man bei den sogenannten

Luftzirkulations-Röhren

der Firmen Gundelach, Reiniger, Polyphos, Burger (Fig. 596) usw. Preßluft bis dicht an die Rückseite der Antikathodenfläche geleitet, und auch damit eine gute Kühlung bewirkt. Frick hat letztere noch

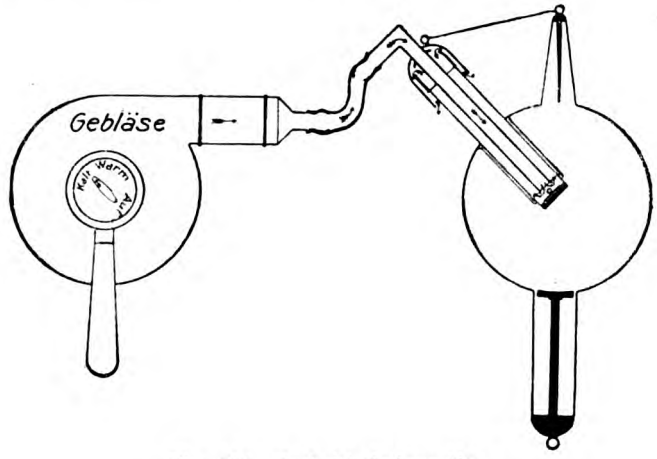


Fig. 596. Luftzirkulationsröhre.

weiter erhöht, indem er die Preßluft, ehe sie in die Röntgenröhre gelangte, mittels einer Kältemischung auf sehr niedere Temperatur abkühlte.

Die Luftzirkulationsröhre hat neben großer Belastbarkeit den Vorzug, daß sie sehr schnell wieder vollständig erkaltet, wenn sie kurze Zeit ohne Stromdurchgang von der Preßluft gekühlt wird.

In der

Maximum-Röhre

nach Amrhein der Veifa-Werke wurde die Preßluft gleichzeitig zur Wasserzerstäubung benützt und, vereint mit dem zerstäubten Wasser, gegen die Rückseite der Antikathode geschleudert. Das überschüssige Wasser wurde in einem kleinen an der Röhre hängenden Gefäß wieder gesammelt und aufs neue gegen die Antikathode geschleudert.

Eine sehr vollkommene Antikathoden- und gleichzeitig Kathodenkühlung — denn auch die Kathode erhitzt sich bei intensivem Betrieb sehr stark — wurde bei meiner

Ultradur-Röhre

angewandt. Bei ihr wurde mittels einer Pumpe Flüssigkeit mit sehr großer Geschwindigkeit und damit in sehr großen Mengen gegen die Rückseite der Antikathode geschleudert, während die Kathode durch zirkulierende Luft gekühlt wurde. Nur nebenbei sei erwähnt, daß die Ultradurröhre erstmals einen außerordentlich hohen Härtegrad, nämlich 40 cm parallele Funkenstrecke aufwies, die ich in einer vollkommeneren Ausführung sogar bis 50 cm steigern konnte. Später wurde meine Ultradurröhre von Gundelach in der in Fig. 597, S. 879 dargestellten vereinfachten Form hergestellt. Die Kathode wird mittels Rippenkühler, die Antikathode mittels besonderer Siedekühlung (s. unten) gekühlt.

Eine eigenartige, aber wie die praktische Verwendung gezeigt hat, sehr zweckmäßige Kühlung der Antikathode hat Bucky in seiner

Siederöhre

angegeben. (Die Kühlung der Röntgentherapieröhren mit siedendem Wasser. Münchner med. Wochenschr. 1915, Nr. 34.) Er verwendet als Kühlflüssigkeit nicht kaltes, sondern siedendes Wasser, das stets die gleiche Temperatur besitzt. Hierdurch erreicht er eine außerordentliche Konstanz der Antikathodentemperatur. Damit bei zeitweiliger Ausschaltung der Röntgenröhre das Wasser sich nicht zu schnell abkühlt, gab er in dem „Thermosrohr" (Müller) dem Wassergefäß zwei durch hohes Vacuum voneinander getrennte Wandungen (Dewar'sche Flasche).

Die einfache Siedekühlung hatte den Übelstand, daß das im Kühlgefäß der Röhre befindliche Wasser — besonders bei sehr intensivem Betrieb — rasch verdampfte und immer wieder durch frisches, heißes Wasser ersetzt werden mußte; auch war die Gefahr vorhanden, daß der ausströmende heiße Dampf den Patienten oder das Bedienungspersonal verletzte. Beides konnte ich durch eine ebenso einfache wie wirksame Siedekühlvorrichtung vermeiden. Sie beruht darauf, daß die Menge des die Antikathode kühlenden auf Siedetemperatur befindlichen Wassers nicht abnehmen konnte, weil der Dampf restlos kondensiert wurde. Die vollständige Kondensation erfolgt mit Hilfe eines hohlen metallischen Kühlkörpers, welcher in den Dampfraum über dem Kühlwasser (nicht in letzteres selbst) eintaucht (Siehe Fig. 597). Das zylindrische Rohr des Kühlkörpers selbst ist mit kaltem Wasser gefüllt, das langsam verdunstet. Infolge der Kühlrippen des wassergefüllten Kühlkörpers bleibt die Temperatur des letzteren stets unterhalb der Siedetemperatur, so daß der über dem starkkochenden Wasser der Röntgenröhre sich bildende Dampf voll-

ständig kondensiert wird. Die im Wassergefäß der Röhre befindliche Wassermenge bleibt deshalb stets die gleiche, und da sie an sich nur eine sehr geringe ist, kommt sie schnell zum Kochen und damit die Röhre selbst schnell zu gleichmäßigem Betrieb.

Fig. 597. Ultradur-Röhre nach Rosenthal.

Wenn auch die Kühlung bzw. die gleichbleibende Temperatur der Antikathode von sehr großer Wichtigkeit für die Konstanterhaltung des Vacuums ist, so erhitzt sich doch — auch unter Anwendung bester Antikathodenkühlung — die Glaswand der Röhre bei sehr starken Belastungen ganz bedeutend und zwar infolge der Antikathodenstrahlung (s. Bd. I, S. 19 und Bd. II, S. 884). Man hat deshalb während des Betriebes kalte Luft gegen die Glaswand der Röhre geblasen.

Gundelach hatte zu diesem Zweck eine besondere Luftzirkulations-Röhre konstruiert, die sich innerhalb eines Bleiglasgehäuses befindet, das mit strahlendurchlässigem Fenster aus Zelluloid versehen ist. Zwischen Gehäuse und Röhre wurde Preßluft eingeblasen.

Infolge der ausgiebigen Kühlung der Röntgenröhre war man imstande, außerordentlich große Energien lange Zeit durch diese zu leiten, ohne daß sich das Vacuum und damit die Qualität der Röntgenstrahlen wesentlich ändert, was ganz besonders für die Tiefentherapie von großer Wichtigkeit ist.

Hier sei auch der sogenannte Doppelunterbrecher erwähnt, welcher gleichfalls dazu diente, das Vacuum konstant zu halten, und darauf beruht, daß mittels eines automatisch arbeitenden, in dem Primärstromkreis liegenden Schalters die Röntgenröhre abwechselnd ein- und ausgeschaltet wird. Hierdurch ist es möglich, die Röhre mit sehr viel stärkeren Strömen zu betreiben, ohne daß sie sich übermäßig erwärmt. Zuerst wurde der Doppelunterbrecher von Rieder (Münchner med. Wochenschr. 1898, Nr. 25) im Jahre 1898 bei seinen bekannten

Versuchen über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf Bakterien benutzt, während er viele Jahre später als „Rhytmeur" (Reiniger) wieder angewandt wurde.

Das Bestreben, in relativ kurzer Zeit möglichst große Röntgendosen zu verabreichen, führte neben der Intensiv-Kühlung der Röntgen-Röhre noch zur Konstruktion einer besonderen Röntgenröhren-Art, die ich

Nahbestrahlungs-Röhren

nennen möchte, da ihre Antikathode näher an den zu bestrahlenden Körperteil gebracht werden kann als bei den üblichen Röhren. Solche Röhren sind unter verschiedenen Namen und in verschiedenen Formen verwendet worden, so die Burger-Therapie-Zentral-Röhre, die Müller-Penetrans-Röhre (Fig. 598), die Radiologie-Dermo-Röhre, die Gundelach-Tp.-TNL.-Röhre, die Polyphos-Spezialröhre No. 3 usw. Allen diesen Röhren ist gemeinsam, daß sich die Antikathode sehr nahe an der Glaswand befindet. Bei den meisten dieser Röhren ist außerdem mit der eigentlichen Röntgenröhre ein zweites großes Gefäß verbunden, das als Luftreservoir dient und eine möglichst geringe Änderung des Vacuums bezweckt.

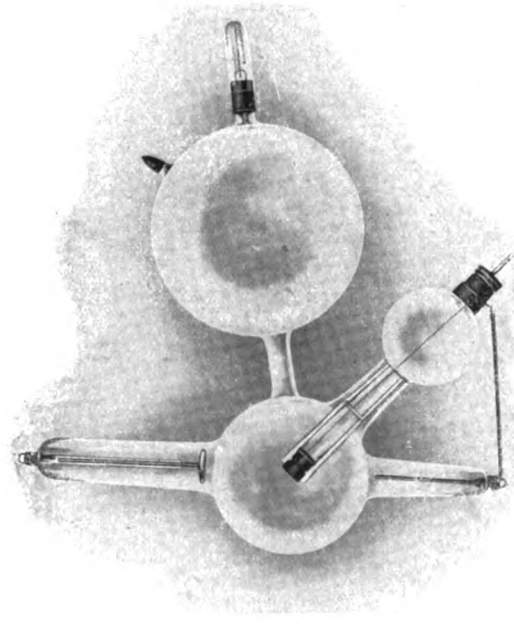


Fig. 598. Penetransröhre.

Bei Röntgenröhren, welche therapeutischen Zwecken dienen, soll der Kathodenstrahl die Antikathode in nicht zu kleiner Fläche treffen, damit letztere nicht eingebrannt bzw. nicht zu stark zerstäubt wird; bei den Aufnahme- und Durchleuchtungs-Röhren ist dagegen, wie schon Band 1, S. 47ff. ausgeführt wurde, die Kleinheit des Fokus von großer Wichtigkeit. Ganz besonders zur Erreichung größter Schärfe, die wenn auch nicht immer, so doch recht häufig notwendig ist, hat sich die von mir angegebene

Präzisions-Röhre

Fig. 599 sehr gut bewährt, deren Antikathode von einer dicken Platte aus reinem Iridium — nicht Platin-Iridium, wie vielfach irrtümlich angegeben wurde — gebildet wird, das sowohl sehr hohes Atomgewicht als sehr hohen Schmelzpunkt besitzt (s. „Über scharfe Röntgenogramme und über Schnellaufnahmen". Bericht des 4. internationalen Kongresses

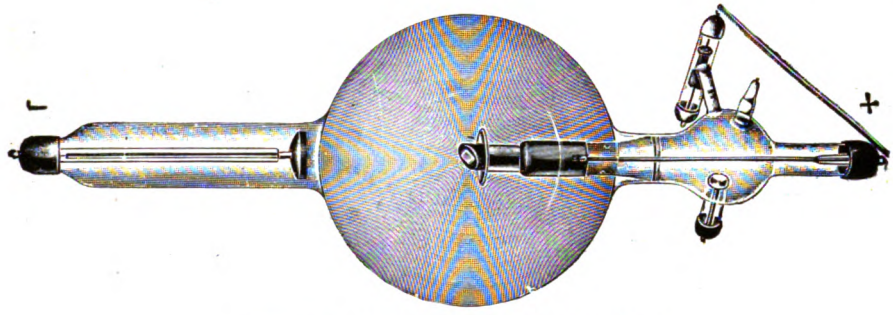


Fig. 599. Rosenthalsche Präzisionsröhre.

für Elektrologie und Radiologie, Amsterdam 1908, S. 433. — „Über Röntgenbilder". Verhandl. d. Deutsch. Röntgen-Ges. **4**, S. 141, 1908. — Über „Schärfe" und „Kontrast" von Röntgenbildern. Verhandl. d. Deutsch. Röntgen-Ges. **6**, S. 112, 1910).

Es liegt in der Natur der Sache, daß derartige Röhren mit nicht so starken Strömen betrieben werden dürfen als weniger scharf zeichnende. Sie sind deshalb nicht geeignet für die kürzesten Expositionen (Momentaufnahmen), welche größte Energien erfordern, sondern nur für Zeit- und Schnell-Aufnahmen; aber auch bei diesen ist die Anwendungsmöglichkeit der Präzisionsröhre — je nach dem zu ihrem Betrieb benützten Röntgenapparat — eine mehr oder weniger ausgedehnte. So kann sie z. B. mit Hochspannungsgleichrichtern infolge der ungünstigeren Form der Stromkurve nur für weniger dicke Körperteile resp. bei weniger großem Fokus-Platten-Abstand benützt werden als mit Induktorien. Aber auch bei Verwendung der letzteren ist die Belastbarkeit der Präzisionsröhre, wie schon erwähnt, abhängig von der Art und Konstruktion des Induktors. (S. „Über Präzisions-Röntgenogramme" Röntgen-Taschenbuch Bd. 4, 1912, S. 115.)

Infolge der großen Fortschritte, welche in der Herstellung der Verstärkungsschirme (s. S. 989) gemacht wurden, ist das Anwendungsgebiet der Präzisionsröhre ein außerordentlich viel weiteres geworden, und zwar auch für die Apparate, welche, wie z. B. die Hochspannungsgleichrichter, weniger günstige Ströme liefern.

Da die zulässige Stromstärke für die Präzisionsröhre in hohem Grade von der Art des Röntgen-Instrumentariums abhängt, ist es empfehlenswert, dieses — bei Verwendung von Präzisionsröhren — einmal auf die Höhe der Belastbarkeit der letzteren zu untersuchen. Am einfachsten geschieht dies, indem man die Präzisionsröhre zunächst bei geringen Stromstärken benützt und allmählich zu höheren schreitet, wobei man sich jeweils zu überzeugen hat, daß die zulässige Grenze nicht überschritten wird. Dies kann leicht dadurch festgestellt werden, daß man bei verhältnismäßig schwachen Strömen vor und nach der Einschaltung die parallele Funkenstrecke mißt, und wenn sie sich nicht verändert hat, dies bei etwas stärkerer Belastung wiederholt. Hat sich auch dann die parallele Funkenstrecke nicht verändert, so kann man noch etwas stärkere Ströme benützen usw. Natürlich darf die in die Röhre geleitete Energie nie so groß werden, daß die Antikathode an der Auftreffstelle der Kathodenstrahlen schmilzt (einbrennt).

Abbildung 4 auf Tafel XXIX zeigt eine mit Präzisionsröhre hergestellte besonders scharfe und kontrastreiche Weichteil-Aufnahme des Ellbogens, bei welcher normale Blutgefäße deutlich zu erkennen sind. Natürlich kommt hier die Struktur der Knochen weniger gut zur Darstellung, wenn es darauf ankommt, diejenige der Weichteile besonders deutlich zu erhalten.

Um höheren Ansprüchen in bezug auf Belastbarkeit genügen zu können, habe ich neben der Präzisions-Röhre eine etwas weniger scharf zeichnende, dafür aber etwa doppelt so stark belastbare Röhre hergestellt, die gleichfalls eine Antikathode aus reinem Iridium besitzt und deren Fokus, wenn auch etwas größer, so doch immer noch relativ klein ist. (Große Iridium-Röhre.)

Für stärkste Belastungen, d. h. für Aufnahmen von kürzester Dauer, sowie solche aus sehr großen Entfernungen, diente eine dritte Iridium-Röhre, die

Blitz-Röhre,

welche einen wesentlich größeren Fokus besitzt, dementsprechend also auch unschärfer zeichnet.

Später wurden sowohl die Präzisions- als die Blitzröhre statt mit Iridium-, mit Wolfram-Antikathode ausgeführt.

Um auch mit stärker belastbaren Röhren, also solchen mit größerem Brennfleck, noch relativ scharfe Bilder zu erhalten, benützt man zweckmäßig die Röntgenstrahlen der Röhre, welche möglichst in Richtung der Antikathodenfläche von der Antikathode ausgehen (s. Regener, Münchner Medizin. Woch. 1917. S. 1518). Wenn man außerdem den Brennfleck linienförmig gestaltet und nur die in oder nahezu in Richtung dieser Linie austretenden Röntgenstrahlen verwendet, so erhält

man relativ scharfe Aufnahmen auch bei größerem Brennfleck, also bei stärkerer Belastbarkeit der Röhre (s. auch S. 904).

Statt Platin oder Iridium als Antikathodenmaterial zu benützen, hat Siemens das Metall „Tantal" und später bei den

Wolfram-Röhren

metallisches „Wolfram" verwendet. Dieses hat sich sehr gut bewährt, da sein Schmelzpunkt ein außerordentlich hoher ist, und da es wenig zerstäubt. Dagegen ist sein Atomgewicht (184) niedriger, als das von Platin (195) oder Iridium (193). Die Röntgenstrahlen-Ausbeute bei gleicher in die Röhre geleiteter Energie ist deshalb bei Platin- oder Iridium-Röhren besser als bei Wolfram-Röhren. Letztere können aber stärker belastet werden als erstere, da der Schmelzpunkt von Wolfram wesentlich höher liegt als der von Platin und auch höher als der von Iridium.

Bekanntlich werden allgemein, zwecks Erhöhung der Bildschärfe, Blenden zwischen Röntgenröhre und den aufzunehmenden Körperteil gebracht (s. S. 922), um die Sekundärstrahlung und die Glasstrahlung zu verringern. Schon in den ersten Jahren der Röntgen-Aera wurden von Max Levy-Berlin und anderen solche Blenden aus strahlenundurchlässigem Material im Innern der Röhre angeordnet. So entstand die

Blenden-Röhre,

bei welcher auf der Antikathode ein Metallzylinder angebracht ist, der zwei Öffnungen besitzt. Durch die eine fallen die Kathodenstrahlen auf die Antikathode, durch die andere treten die Röntgenstrahlen aus. Fig. 593, S. 875 (Gundelach) zeigt eine solche Röhre, wie sie besonders für Hochspannungsgleichrichter verwendet wird. Derartige Röhren sind für Induktorbetrieb weniger gut geeignet, da sie stark zu Schließungslicht neigen, also die Ströme verkehrter Richtung sehr leicht durchlassen.

Neben den bisher angeführten Hauptformen der gashaltigen Röntgenröhren sollen noch einige

spezielle Röhrentypen

erwähnt werden, die bestimmten Zwecken dienen und dementsprechend konstruiert sind.

Fig. 600 stellt eine von Seitz, Aachen, angegebene Röhre dar, bei welcher die

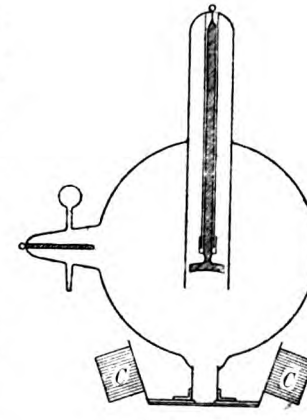


Fig. 600.
Röntgenröhre von Seitz.

Antikathode ganz nahe an den Körper gebracht werden kann, da sie aus einer Metallfläche besteht, welche einen Teil der Wandung selbst bildet. Es werden hierbei die Röntgenstrahlen verwendet, welche an der Rückseite der dünnen Antikathode austreten, also Strahlen, welche bereits durch die Antikathode selbst filtriert worden sind. Später haben Krause und Sellheim ähnliche Röhren für therapeutische Bestrahlungen publiziert.

In der von mir im Jahre 1906 angegebenen Innenfilter-Röntgenröhre (Über eine neue Art von Röntgenröhren. Verh. der Deutsch. Röntgenges., Bd. 2, S. 82, 1906) werden alle von der Antikathode ausgehenden Strahlen (ich nannte diese in der erwähnten Arbeit „Antikathodenstrahlen"), ehe sie die Glaswand der Röhre treffen, durch ein Innenfilter gesiebt. Neben den gewünschten Röntgenstrahlen enthalten die Antikathodenstrahlen noch solche von so geringer Härte, daß sie die Glaswand der Röhre nicht durchdringen können, außerdem Kathodenstrahlen, welche gleichfalls vollständig absorbiert werden. Letztere bilden die Hauptursache des grünen Leuchtens und der starken Erwärmung der Glaswand unserer Ionen-Röntgenröhren und veranlassen in erster Linie die für gute Röntgenbilder so schädlichen Glasstrahlen (s. Bd. I, S. 42).

Die wechselnde Temperatur der Glaswand sowohl, wie die chemische Veränderung der letzteren sind u. a. Ursache der Inkonstanz des Härtegrades. Da nun sowohl die Kathodenstrahlen als die ganz weichen Röntgenstrahlen schon durch ein äußerst dünnes Filter, durch das die gewünschten Röntgenstrahlen nahezu ungeschwächt hindurchgehen, vollkommen absorbiert werden, so bietet die Innenfilterröhre gewisse Vorzüge gegenüber den allgemein üblichen Röntgenröhren. Bei ihr tritt keine wesentliche Erhitzung der Glaswand ein, auch nicht bei sehr starker Belastung. Leider haben sich bei der Fabrikation der Innenfilterröhre große praktische Schwierigkeiten gezeigt, welche deren Einführung bisher verhinderten.

S. 851 wurde schon auf die von Röntgen angegebene

Bikathoden-Röhre

Fig. 567 hingewiesen, die direkt mit hochgespanntem Wechselstrom betrieben werden kann.

Figur 601 zeigt eine Ausführungsform dieser Röhrentype von Gundelach.

Die Bikathoden-Röhre von Koch und Sterzel (Fig. 602) benützt das gleiche Prinzip. Sie unterscheidet sich von der erstgenannten

aber dadurch, daß bei ihr die Kathodenstrahlen der einen Kathode nicht verwendet, sondern in einem hinter der Antikathode befindlichen

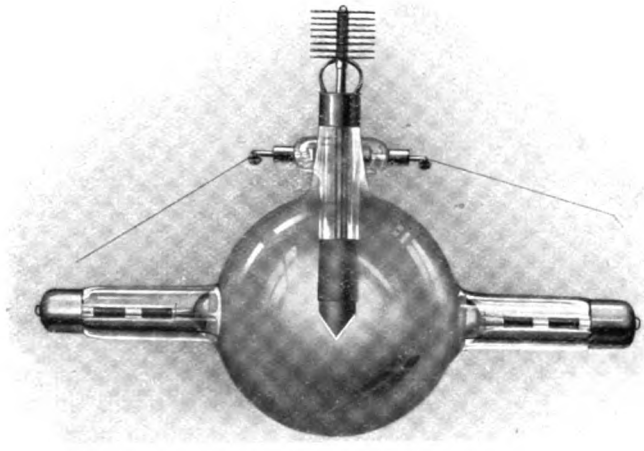


Fig. 601. Bikathoden-Röhre mit luftgekühlter Antikathode.

Metalltrichter aufgefangen werden. Infolgedessen gehen von der Antikathodenfläche nur Röntgenstrahlen aus, welche von einem Kathodenstrahlenbündel erzeugt werden.

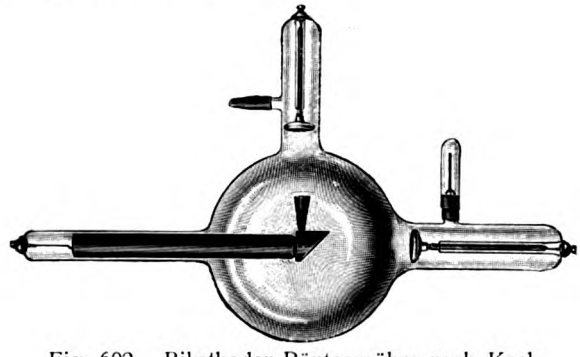


Fig. 602. Bikathoden-Röntgenröhre nach Koch.

Für stereoskopische Röntgenaufnahmen sowie für Doppelaufnahmen zur Lokalisation von Fremdkörpern und dergl. werden sog.

Stereo-Röntgen-Röhren

mit zwei Kathoden und zwei Antikathodenflächen (Fig. 603) verwendet, bei welchen die Auftreffstellen der Kathodenstrahlen, also die Aus-

gangspunkt der Röntgenstrahlen einen bestimmten Abstand (im allgemeinen 6,5 cm) besitzen. Solche Röhren wurden von Radiologie,

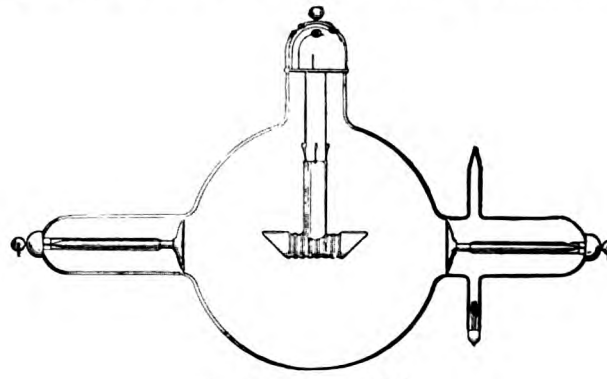


Fig. 603. Stereo-Röhre.

Gundelach, Polyphos usw. hergestellt; von letzterer sowohl Präzisions- wie Blitz-Stereoröhren.

Röhren für besonders weiche Strahlen.

Im Jahre 1905 habe ich eine Röntgenröhre zur Erzielung besonders kontrastreicher Bilder angegeben. Sie beruht darauf, daß das Glas der Röntgenröhre an der Stelle, an welcher die zu verwendenden Röntgenstrahlen austreten, ganz besonders dünnwandig gemacht wird, und zwar wird letzteres dadurch ermöglicht, daß diese Stelle kleineren Krümmungsradius erhält, wie dies Fig. 604 zeigt.

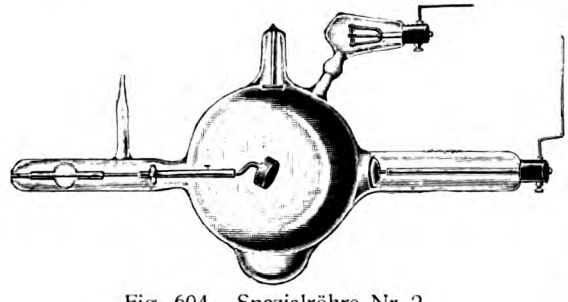


Fig. 604. Spezialröhre Nr. 2.

Wäre die Glaswand bei einer Röhre von größerem Krümmungsradius ebenso dünn, so würde sie dem äußeren Luftdruck nicht standhalten und die Röhre würde implodieren. Andererseits ist auch die Erwärmung der dünnen Glaswand bei dieser Röhre viel geringer als bei einer Röhre von gleich kleinem Durchmesser, da bei letzterer die Entfernung der Antikathode von der Glaswand wesentlich kleiner wäre. Damit ist auch die Gefahr des Weichwerdens infolge Erhitzung eine weniger große. Derartige Röhren liefern, unter sonst gleichen Bedingungen, natürlich eine größere Menge weicher Strahlen als die gewöhnlichen Röhren und geben daher besonders kontrastreiche Bilder.

In weit vollkommenerer und in sehr ingeniöser Weise ist es später C. L. und F. A. Lindemann gelungen, die Röhrenwandung für weiche Röntgenstrahlen ganz besonders durchlässig zu machen. Sie erreichten dies dadurch, daß sie die Wandung an der Stelle, an welcher die Röntgenstrahlen austreten sollen, aus einer Glassorte herstellten, deren Bestandteile bedeutend niedrigeres Atomgewicht besitzen als die der gewöhnlich verwendeten Gläser. Während nämlich letztere im wesentlichen aus Natrium, Silicium und Calcium bestehen, welchen die Atomgewichte 23, 28 und 40 zukommen, wurde von C. L. und F. A. Lindemann ein Glas verwendet, das aus Lithium, Beryllium und Bor zusammengesetzt ist, deren Atomgewichte 7, 9 und 11 betragen. Mit Ausnahme der beiden Gase Wasserstoff und Helium gibt es kein Element von niedrigerem Atomgewicht als die für das Lindemann-Glas verwendeten Elemente. Infolgedessen hat es eine ganz außerordentlich große Durchlässigkeit, besonders für sehr weiche Röntgenstrahlen. Nach Angabe der Erfinder ist für Röntgenstrahlen mittlerer Härte die Absorption 5 mal geringer als die des gewöhnlichen Glases; bei weicheren Strahlen ist der Unterschied noch größer, bei härteren dagegen kleiner. Fig. 605 zeigt die Lindemannröhre (Müller).

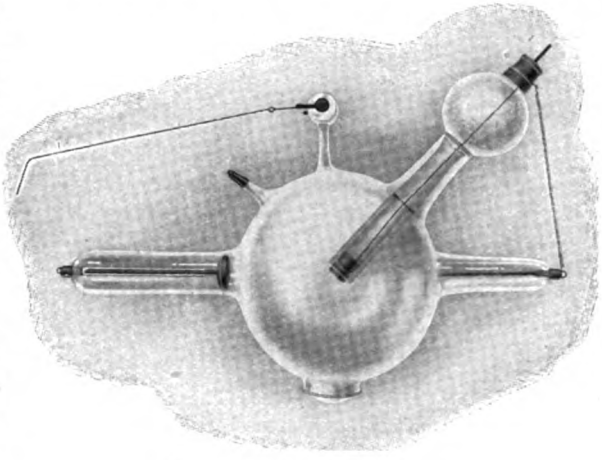


Fig. 605. Lindemannröhre.

Schon Seite 871 wurde bemerkt, daß man die Lebensdauer der Ionenröhren durch Einführung der

Reguliervorrichtungen

bedeutend erhöhen konnte. Die Konstruktion der letzteren ist eine sehr mannigfache. Hier sollen nur einige häufig verwendete angeführt werden.

Durch

Erwärmung

geben manche Körper wie Ätzkali, Kohle etc. Gase oder Dämpfe ab. Wenn man solche Körper in ein kleines, an die Röhre angeschmolzenes

Gefäß bringt, und letzteres beispielsweise durch eine Spiritusflamme vorsichtig erwärmt, so kann man Röhren, die infolge zu hohen Vacuums unbrauchbar geworden sind, wieder brauchbar machen.

Diese ursprünglich benutzte Methode wird heute nicht mehr angewandt, dagegen eine etwas abgeänderte noch häufig. Die Austreibung der Gase wird nämlich nicht durch eine Heizflamme, sondern durch den die Röhre speisenden

elektrischen Strom

besorgt. So verwendete Müller hierzu Glimmerblättchen, welche, wenn die Röhre reguliert werden soll, mit der Kathode in Verbindung gebracht werden. In ähnlicher Weise wurde auch Kohle benützt. Gundelachs Reguliervorrichtung besitzt ein kondensatorähnliches Gebilde, dessen Belegungen aus dem gasabgebenden Körper bestehen. In der Polyphos-Regulierung geht die elektrische Entladung unmittelbar zwischen zwei voneinander isolierten Hohlzylindern aus Aluminium über, von welchen der eine mit der gasabgebenden Substanz gefüllt ist. Alle diese Reguliervorrichtungen können entweder durch Umhängen des Kathodenkabels der Röntgenröhre an die Reguliervorrichtung eingeschaltet oder automatisch in Tätigkeit gesetzt werden. Letzteres geschieht dadurch, daß die eine Elektrode der Regulierung dauernd mit der Antikathode verbunden bleibt, während die andere erst in den Stromkreis eingeschaltet wird, wenn Funken zwischen der Kathoden-Öse und einem Metallstäbchen überspringen, das an der Regulierung drehbar angebracht ist, und das in verschiedene Entfernung von der Kathoden-Öse eingestellt werden kann (s. Fig. 605). Die Regulierung erfolgt somit erst, wenn die Röntgenröhre so hart geworden ist, daß zwischen dem Stäbchen und der Kathode Funken überspringen. Der beim Funkenüberschlag durch die Regulierung fließende Strom bringt dann die gewünschte Änderung des Vacuums hervor, worauf der Funkenübergang aufhört und damit auch die Gasaustreibung. Je nachdem die Röhre härter oder weicher sein soll, muß der Abstand des Stäbchens von der Kathode größer oder kleiner gewählt werden.

Zwei Reguliervorrichtungen haben besonders große Verbreitung gefunden, die Villard-Chabaudsche „Osmoregulierung“ und das Bauersche „Luftventil“. Beide können während des Betriebs der Röhre in Tätigkeit gesetzt werden, und beide sind unabhängig von dem elektrischen Strom, der durch die Röhre fließt.

Die Osmo-Regulierung beruht auf der, gewissen Metallen zukommenden Eigenschaft der

Osmose,

die darin besteht, daß bestimmte Metalle im glühenden Zustand für Wasserstoff durchlässig sind. In besonders hohem Maße besitzt diese Eigenschaft das Metall „Palladium". Ein an einem Ende zugeschmolzenes Palladium-Röhrchen ist, wie z. B. Fig. 602 zeigt, in einen Ansatz der Röhre eingeschmolzen. Zum Schutz des dünnen Röhrchens wird dieses zweckmäßig mit einem Drahtgestell umgeben (Fig. 607a). Erhitzt man mit einer Gas- oder Spiritusflamme das geschlossene Ende des Röhrchens bis zur Rotglut, wobei natürlich die Flamme nicht in die Nähe der Einschmelzstelle kommen darf, so diffundiert das in der Flamme vorhandene Wasserstoffgas durch das Palladium ins Innere der Röhre und erniedrigt deren Vacuum. Barret hat eine Vorrichtung ersonnen, um aus größerer Entfernung (also z. B. von der Schutzwand) aus die Erhitzung nach Belieben vornehmen zu können. In Fig. 606 ist eine vielverwendete derartige Vorrichtung abgebildet, der Distanzregulator nach Holzknecht. Mittels eines Gaszuleitungsschlauches a und eines Dreiweghahnes e kann entweder eine kleine Zündflamme d oder eine zur starken Erhitzung des Palladiumröhrchens genügende, größere Flamme erhalten werden. Man kann auch den Dreiweghahn, der zwei Gaszuleitungen zur Röhre erfordert, durch einen Hahn H

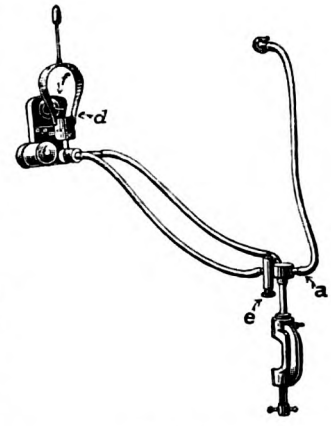
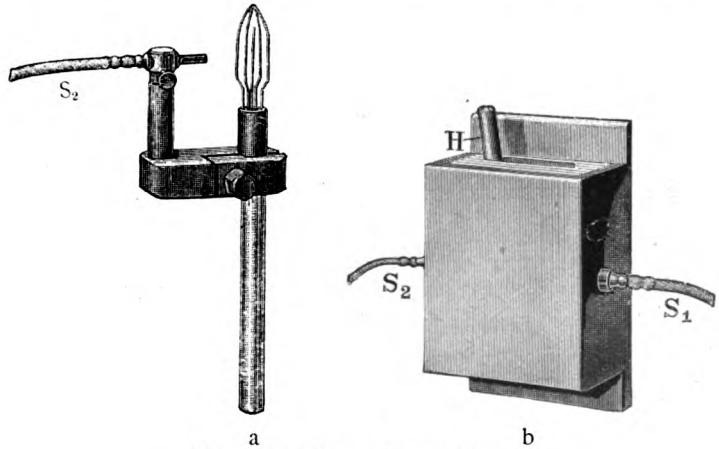


Fig. 606.
Distanzregulator nach Holzknecht.



a b

Fig. 607. Osmo-Fernregulierung

(Fig. 607a und b) ersetzen, welcher nach Belieben (mittels zweier regulierbarer Anschläge) die Flamme groß und klein zu stellen gestattet. Dadurch benötigt man nur eine Gaszuführung S_2 zur Röhre.

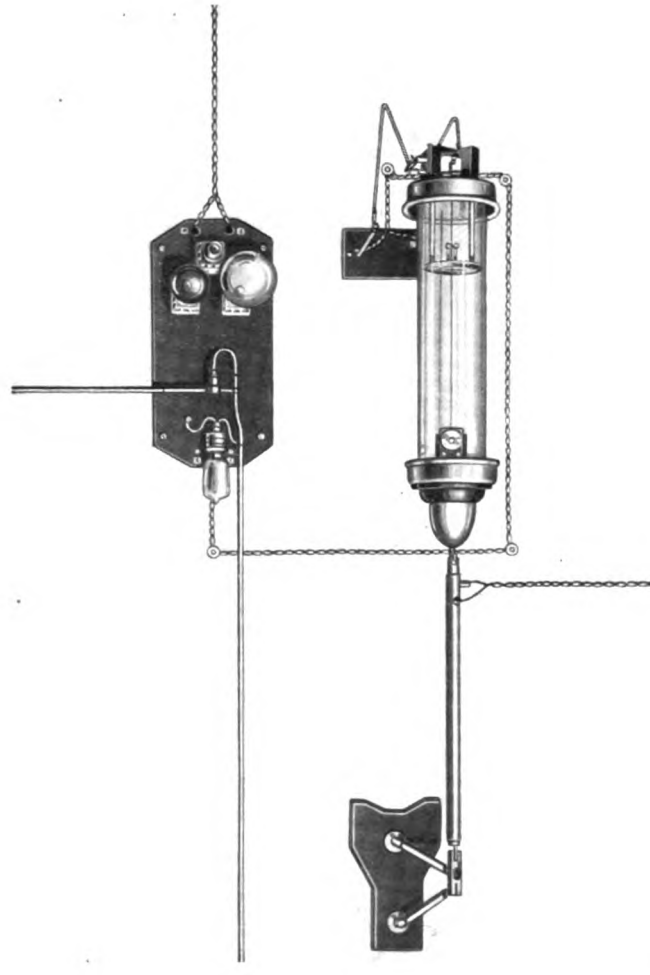


Fig. 608. Regenerier-Automat nach Wintz.

Zur selbsttätigen Einstellung der Heizflamme und damit zur automatischen Regulierung der Härte der Röntgen-Röhre benützte Barret das im Hochspannungskreis liegende Milli-Ampèremeter. Mit Hilfe einer Vorrichtung, welche mit letzterem in Verbindung stand, wurde die Heizflamme selbsttätig eingeschaltet, sobald die Milli-Ampère-Zahl infolge zu großer Härte der Röhre auf einen gewissen Wert gesunken war, und wieder ausgeschaltet, wenn infolge der Erhitzung

des Osmo-Röhrchens die Stromstärke wieder stieg. Da — unter sonst gleichen Verhältnissen — die Milli-Ampèrezahl abnimmt, wenn die Härte zunimmt, so konnte auf diese Weise die Röhre automatisch reguliert werden. Der vor Einführung der Elektronenröhren viel verwendete Wintz'sche Regenerier-Automat beruht auf dem gleichen Prinzip. Eine Ausführungsform des letzteren ist in Figur 608 abgebildet.

Besonders zu beachten ist bei der Osmoregulierung, daß nicht die Spitze oder der Saum der Flamme das Röhrchen bestreicht, sondern der mittlere oder untere Teil, da nur in diesem freier Wasserstoff vorhanden ist. Ein Glühen des Röhrchens mittels der Spitze oder des Saumes der Flamme reguliert daher die Röntgenröhre nicht.

Schwarz hat die Erhitzung des Palladiumröhrchens auf elektrischem Weg mittels eines kleinen Akkumulators vorgenommen. Der nötige Wasserstoff wird in diesem Fall durch einen mit Alkohol getränkten Wattebausch geliefert, der in einer Glashülle in der Umgebung des Palladiumröhrchens sich befindet.

Die Bauer-Regulierung (Fig. 609 u. 610) verwendet zur Regulierung der Röhre

atmosphärische Luft,

die mittels eines Quecksilberverschlusses in geringen Mengen in die Röhre eingelassen werden kann, was mit Hilfe eines kleinen Gebläses und eines Gummischlauches aus beliebiger Entfernung geschieht.

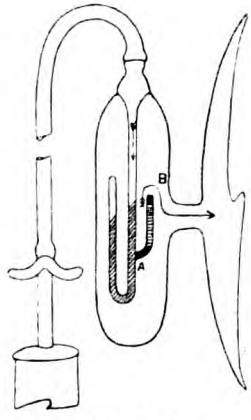


Fig. 609.
Bauer-Regulierung.

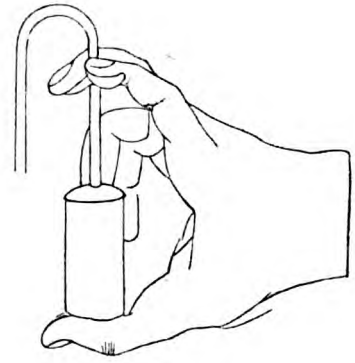


Fig. 610.
Pumpe zur Bauer-Regulierung.

Loose beschreibt in den Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., XVIII, S. 156, 1912 die Vorrichtung mit folgenden Worten:

„Die eigentliche Vorrichtung der Regulierung besteht nun (Fig. 609) aus einem U-förmig gebogenen Kapillarröhrchen, das zum Teil mit Hg gefüllt ist (durch schräge Schraffierung markiert). Das Kapillarröhrchen wiederum ist mit einem zweiten gebogenen Glasansatz armiert, der sogenannten Filterkammer; die periphere und zentrale Öffnung derselben (A und B, schwarz markiert) sind durch poröse Plättchen verschlossen, d. h. durch Stoffe, die für Hg undurchlässig, für Luft aber durchlässig sind; der Zwischenraum (quer schraffiert) enthält Materialien, die wider Erwarten durchtretende Hg-Dämpfe vernichten. Für gewöhnlich ist der Außenluft der Weg durch die Filterkammer mit Hilfe der Hg-Schlange versperrt. Erzeuge ich nun oberhalb der Hg-Kuppe einen Überdruck, so weicht das Hg in der Richtung des geraden Pfeils aus; erhöhe ich den Druck und treibe das Hg an der Öffnung der Filterkammer (A) vorbei, so ist in demselben Moment die Passage frei und es tritt ein kleines Quantum atmosphärischer Luft durch die Filterkammer in das Innere der Röhre ein (cf. Schlangenpfeil). Mit dem Nachlassen des Druckes und der Rückwärtsbewegung des Hg ist der Weg durch die Filterkammer wieder geschlossen.

Zur Erzeugung des erforderlichen Überdruckes wird ein kleines Metallgebläse benutzt, das wie eine Luftpumpe funktioniert. Seine Handhabung illustriert Abbildung 610. Bei der Auslösung der Regulierung ist vor allem darauf zu achten, daß der Druckapparat kräftig genug ist. Denn wenn der Druck nicht ausreicht, um das Hg an A vorbeizutreiben, kann natürlich auch keine Luft eintreten und die Regulierung versagt."

Allgemeine Bemerkungen über das Regulieren von Ionenröhren.

Um auch andere Reguliervorrichtungen, besonders solche, welche durch den elektrischen Strom betrieben werden, von größerer Entfernung aus betätigen zu können, hat Reiniger eine einfache, durch ein Gummigebläse in Tätigkeit zu setzende Vorrichtung konstruiert, welche die Verbindung der Regulierungs-Elekrode mit der Kathode der Röhre auf pneumatischem Wege ermöglicht, wie aus Fig. 611 ersichtlich ist. — Fürstenau erreichte ähnliches durch einen Schnurzug, welcher mit Hilfe eines in einem Kästchen untergebrachten Schalters die Regulierungs-Elektrode mit der Kathode verbindet (Fig. 612, Radiologie).

Während man früher allgemein Röntgenröhren, die rasch hart wurden, als schlechte Röhren bezeichnete, hat sich diese Ansicht im Laufe der Entwicklung der Röntgentechnik wesentlich geändert. Insbesondere infolge der bequemen Handhabung der Bauer- und Osmo-Regulierungen stellte man später — wenigstens für Durchleuchtungs- und Therapie-Zwecke — absichtlich Röntgenröhren her,

welche Neigung zum Hartwerden haben, da sie jederzeit leicht und schnell wieder auf einen niedrigen Härtegrad gebracht werden können. (Selbsthärtende Röntgenröhren.) Weit weniger einfach

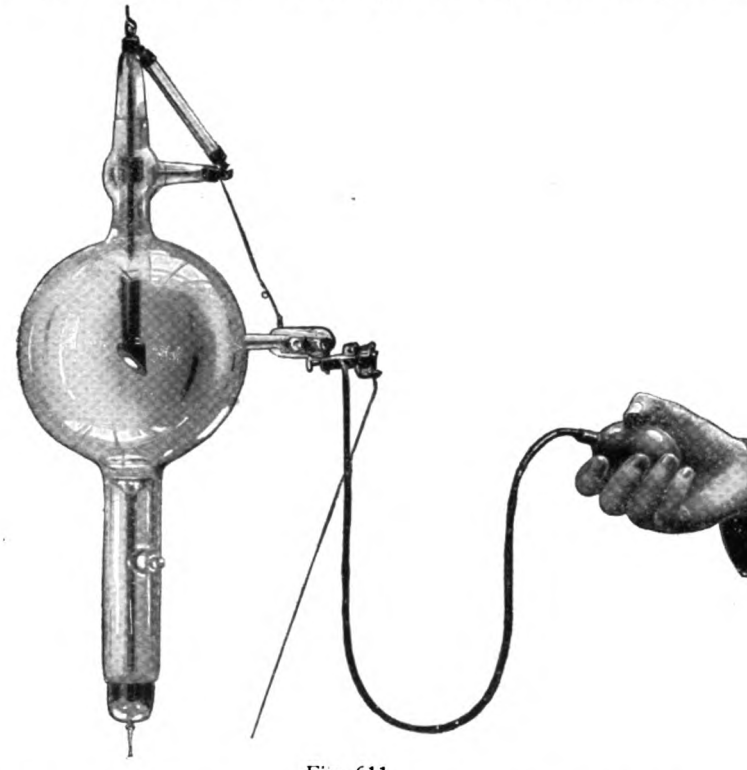


Fig. 611.
Pneumatische Fernregulierung bei elektrischer Reguliervorrichtung.

ist das Härten der Röhren, wenn sie zu weich geworden sind. Eine früher vielfach angewandte Härtemethode bestand darin, den Strom in verkehrter Richtung durch die Röhre zu leiten, wodurch das Antikathoden-Metall (Platin) zerstäubt wurde. Das fein verteilte Metall okkludiert einen Teil des in der Röhre befindlichen Gases und härtet sie dadurch. Dieses Verfahren ist nicht empfehlenswert und wird auch kaum mehr benützt, da derartig gehärtete Röhren inkonstant arbeiten. Dasselbe gilt von einigen anderen Härtemethoden, z. B. dem Zerstäuben von Metall in einem besonderen, mit der Röntgenröhre in Verbindung stehenden, kleinen Gefäß. Bei manchen Röhren läßt sich — wenigstens in gewissen Grenzen — ein

Fig. 612.
Fernregulierung nach Fürstenau.

Härten dadurch vornehmen, daß man sie längere Zeit mit schwachen Strömen betreibt, so daß keine wesentliche Erwärmung auftritt, dagegen eine ganz geringe Metallzerstäubung, die eine Okklusion des Gases verursacht.

Für Aufnahmezwecke ziehe ich die elektrische Regulierung und solche Röhren vor, die nicht oder nur sehr langsam härter werden. Für Durchleuchtungen dürfte die Bauerregulierung und für Tiefentherapie die Osmoregulierung die empfehlenswerteste sein, während für Oberflächentherapie sich jede der drei Arten gut eignet.

B. Gasarme oder Elektronen-Röntgenröhren.

a) Elektronenröhren mit glühender Kathode (Glühkathodenröhren).

Während aus den Ionenröhren die Luft bis auf sehr kleine Mengen entfernt wurde, sind die Elektronenröhren, wenn auch nicht vollständig gasfrei — denn wir sind nicht imstande, einen vollständig gasfreien Raum herzustellen —, so doch so weit wie möglich entlüftet. Würde eine derart gasarme Röntgenröhre ohne Weiteres mit dem Hochspannungsapparat verbunden werden, so gingen die Entladungen außerhalb der Röhre über, es könnten also keine Röntgenstrahlen entstehen. Wenn es gelänge, in einer solchen möglichst hoch evakuierten Röhre Kathodenstrahlen von gewünschter Geschwindigkeit zu erzeugen, so könnte man unabhängig von der Höhe des Gasdrucks in der Röntgenröhre Röntgenstrahlen von den verschiedensten Härtegraden erhalten. Es ist das Verdienst von I. E. Lilienfeld, Leipzig, als erster im Jahre 1911 den Weg hierzu gezeigt und in der

Lilienfeld-Röhre

die erste brauchbare Röntgenröhre dieser Art hergestellt zu haben. Daß gewisse auf hohe Temperatur gebrachte Körper Elektronen — also Kathodenstrahlen — aussenden, wurde von J. J. Thomson nachgewiesen und von O. W. Richardson, Elster & Geitel, A. Wehnelt u. v. a. eingehend studiert (siehe O. W. Richardson, Die Abgabe negativer Elektrizität von heißen Körpern, Jahrb. d. Radioaktivität und Elektronik Bd. 1, S. 300—315, 1904) und W. Schottky, Bericht über thermische Elektronenemissionen (Jahrb. d. Radioaktivität u. Elektronik Bd. XII, S. 147—205, 1915), sowie W. Schottky, Über kalte und warme Elektronenentladungen (Z. S. f. Physik XIV, S. 63—106, 1923). Es sendet hiernach beispielsweise ein glühender Platin- oder

Wolframdraht auch im höchsten Vacuum Elektronen aus und wenn man durch ein elektrisches Feld, d. h. durch Anlegen einer größeren oder geringeren elektrischen Spannung, diesen Elektronen eine größere oder kleinere Geschwindigkeit erteilt, erhält man schnellere oder langsamere Kathodenstrahlen und dementsprechend härtere oder weichere Röntgenstrahlen.

Fig. 613.
Lilienfeldröhre.

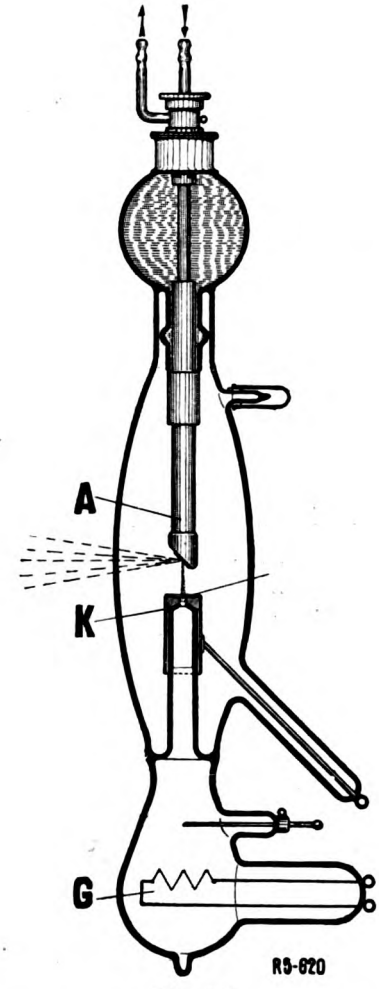


Fig. 614.
Querschnitt durch die Lilienfeldröhre.

Wehnelt fand, daß man schon bei relativ geringer Erhitzung Kathodenstrahlen erhält, wenn man statt Platin oder anderer Metalle gewisse Metalloxyde, z. B. Calcium-Oxyd, erhitzt. Wehnelt und Trenkle haben im Jahre 1905 auch schon eine auf diesem Prinzip

beruhende, allerdings sehr weiche Röntgenröhre beschrieben, welche aber im Gegensatz zur Lilienfeld-Röhre relativ viel Luft enthielt, also eine kombinierte Ionen- und Elektronenröhre darstellte.

Fig. 613 u. 614 zeigen eine Lilienfeld-Röhre der ursprünglichen Art in Ansicht und Querschnitt in etwa $^1/_6$ natürlicher Größe, Fig. 615 stellt

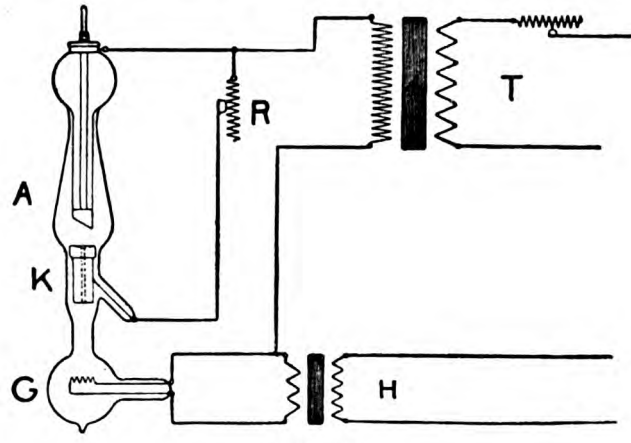


Fig. 615.
Schematische Darstellung und Stromschema der Lilienfeld-Röhre.

sie und ihren Stromverlauf schematisch dar. Es bedeutet „A" die Antikathode, „K" die durchbohrte Kathode der Röntgenröhre, „G" die Glühkathode. Letztere besteht aus mehreren Glühfäden, ähnlich denjenigen einer Glühlampe und wird durch einen Heiztransformator „H"

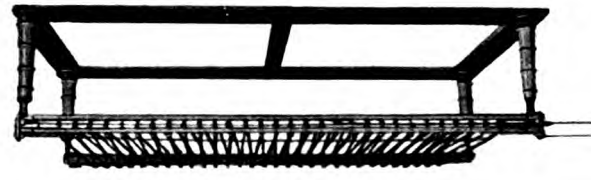


Fig. 616.
Hochspannungswiderstand zur Lilienfeld-Röhre.

zur hellen Weißglut erhitzt. In diesem Zustand treten, wie oben erwähnt, von den glühenden Drähten Elektronen aus, welche, wenn sie durch ein elektrisches Feld beschleunigt werden, durch die hohle Kathode „K" hindurch auf die Antikathode „A" fallen. Das beschleunigende, elektrische Feld wird durch den Hochspannungstransformator „T" erzeugt, dessen sekundäre Wicklung einerseits an den Glühdraht

„G", andererseits an die Antikathode „A" angelegt wird. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektronen auf letztere treffen, wird größer oder kleiner — und damit werden die Röntgenstrahlen härter oder weicher —, je nachdem ein regulierbarer Hochspannungswiderstand „R" größer oder kleiner eingestellt wird. Der in Fig. 616 (ca. $^1/_{18}$ natürlicher Größe) dargestellte Widerstand „R" ist zweckmäßig an der Wand oder der Decke des Röntgenzimmers anzubringen, sodaß man mittels eines Schnurzuges mehr oder weniger von den einzelnen Widerstandsstäben einschalten kann.

Im Gegensatz zu den Ionen-Röntgenröhren zeigt die Glaswand der Lilienfeld-Röhre gegenüber der Antikathode keine Erwärmung und auch keine oder nur ganz geringe Fluoreszenz. Es treten also die oben erwähnten ungewünschten Antikathodenstrahlen bei ihr in viel geringerem Grade auf, dagegen erhitzt sich die Antikathode selbst sehr erheblich. Deshalb ist sie, wie aus Fig. 614 ersichtlich, ähnlich wie eine Wasserzirkulationsröhre mit einem Wassergefäß verbunden, das mit Zu- und Abflußdüse versehen ist, sodaß mittels einer kleinen Pumpe Wasser dauernd durchgeleitet werden kann. Erwähnt sei noch, daß der Heiz-

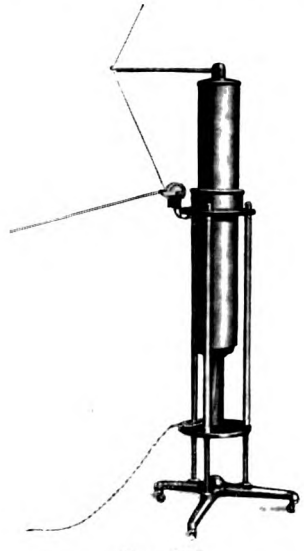


Fig. 617.
Zusatz-Einrichtung für Glühkathodenröhren.

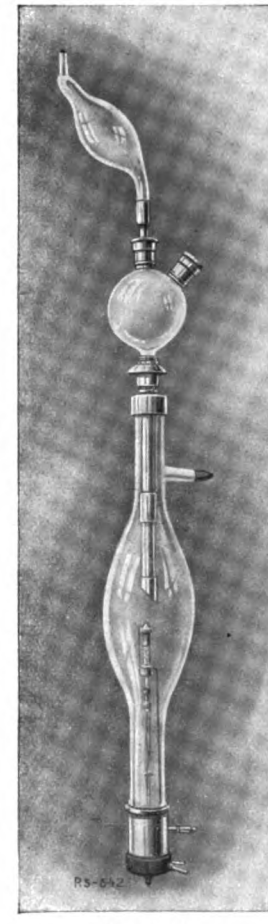


Fig. 618.
Neuere Ausführung der Lilienfeldröhre.

transformator, da er an Hochspannung liegt, natürlich gegen Erde oder elektrische Leiter ebensogut isoliert sein muß wie die Röntgenröhre selbst.

Um auch die für Ionenröhren bestimmten Röntgenapparate mit der Lilienfeldröhre oder anderen Glühkathodenröhren verwenden zu können, hat man Zusatz-Einrichtungen konstruiert. Sie bestehen entweder aus einer kleinen Akkumulatorenbatterie (die isoliert aufgestellt sein muß) mit Regulierwiderstand oder einem Heiztransformator (Fig. 617, Reiniger), welcher an den zur Speisung des Röntgenapparates dienenden Wechselstrom angeschlossen wird und letzteren auf die für den Heizdraht notwendige niedere Voltzahl transformiert.

Fig. 618 zeigt eine neuere Ausführungsform der Lilienfeldröhre mit Siedekühlung, wie sie mit dem Radio-Silex-Apparat verwendet wird. Bei diesem Apparat (s. S. 861) wird statt des Widerstandes „R" ein regulierbarer Zündtransformator angewandt, um die Elektronengeschwindigkeit und damit die Härte der Röntgenstrahlen variieren zu können.

Die von W. D. Coolidge angegebene Glühkathodenröhre, die

Coolidge-Röhre

hat außerordentlich große Anwendung gefunden. Sie wurde zuerst veröffentlicht im Dezember 1913 in der „Physical Review", Serie 2, Band 2, S. 409 (siehe auch Fortschr. a. d. Geb. der Röntgenstr., Bd. 22,

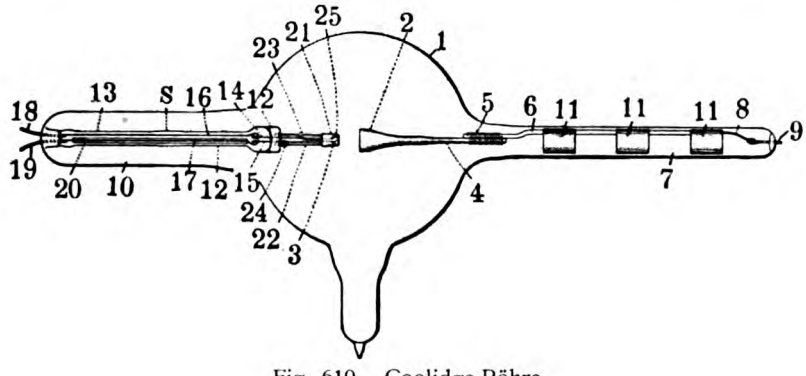


Fig. 619. Coolidge-Röhre.

S. 18, 1914) und ist in Fig. 619 und 620 dargestellt, während Fig. 621 das Schaltungschema zeigt. In den beiden erstgenannten Figuren bedeutet 25 die Glühkathode, d. i. eine enggewundene Spirale aus dünnem Wolframdraht. Die Enden dieser Spirale sind mit zwei kräftigen Molybdändrähten 14, 15 zusammengeschweißt, die wieder mit den

beiden Kupferdrähten 16, 17 verbunden sind. An letztere sind Platindrähte 18, 19, angeschweißt, die am Ende des Kathodenhalses in das Glas eingeschmolzen sind. Die Einschmelzstelle 12 dient dazu, dem heißen Molybdändraht eine sichere Stütze zu geben. Über einen der beiden Kupferdrähte (16) ist ein Glasröhrchen 20 gebracht, um eine Berührung beider und damit Kurzschluß zu vermeiden. Die Wolframdraht-Spirale wird entweder mit Hilfe einer kleinen Akkumulatoren-Batterie „B" (Fig. 621), oder besser noch mittels eines Heiztransformators, ähnlich dem bei der Beschreibung der Lilienfeld-Röhre erwähnten, erhitzt. In diesen Stromkreis ist ferner ein Ampèremeter „A", sowie ein Regulierwiderstand „R" ein-

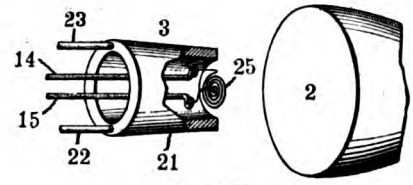


Fig. 620.
Kathode und Antikathode der Coolidge-Röhre.

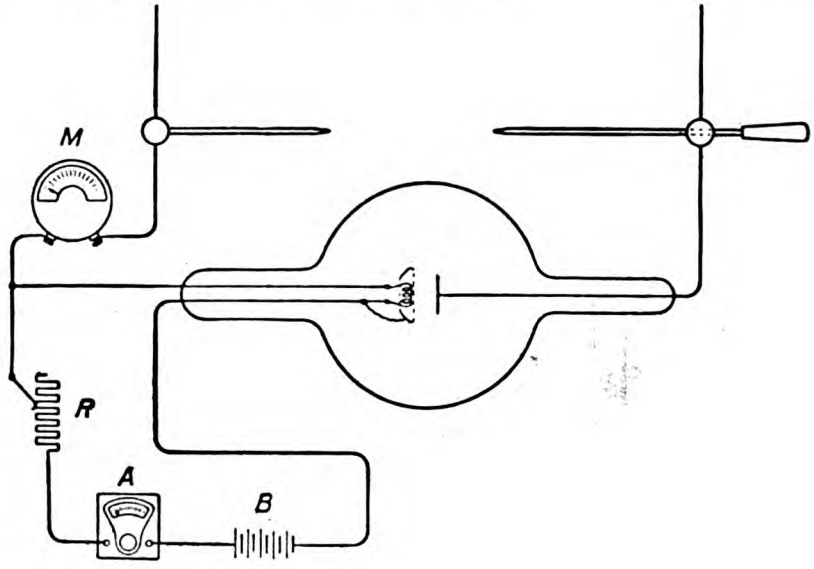


Fig. 621.
Schaltungsschema der Coolidge-Röhre.

geschaltet. Letzterer gestattet, den dem Drahte zugeführten Strom in feinen Abstufungen einzustellen.

Um die von der Glühkathode ausgehenden Kathodenstrahlen zu konzentrieren, dient eine zylindrische Molybdänröhre 21 (Fig. 620), die über der Spirale angebracht ist. Diese Röhre wird von zwei kräftigen Molybdändrähten 22 u. 23 gestützt und ist metallisch mit einer der Wolframdrahtzuleitungen verbunden. Die Molybdänröhre verhindert

auch das Auftreten von Kathodenstrahlen, welche von der Rückseite der Glühkathode ausgehen würden.

Die Antikathode 2 (Fig. 619), zugleich Anode, ist aus einem Stück Wolframmetall hergestellt, dessen Ende mit Hilfe eines Molybdändrahtes 5 fest an die Molybdänstütze 6 gebunden ist. An diese Stütze sind drei Spaltringe 11 aus Molybdän angenietet, welche die Anode in zweckentsprechender Weise stützen und ferner möglichst viel Wärme von der Molybdänstütze 6 abführen. Dadurch wird verhindert, daß die Einschmelzstelle 9 sich zu stark erhitzt.

Wie die Lilienfeld-Röhre muß auch die Coolidge-Röhre möglichst hoch evakuiert sein.

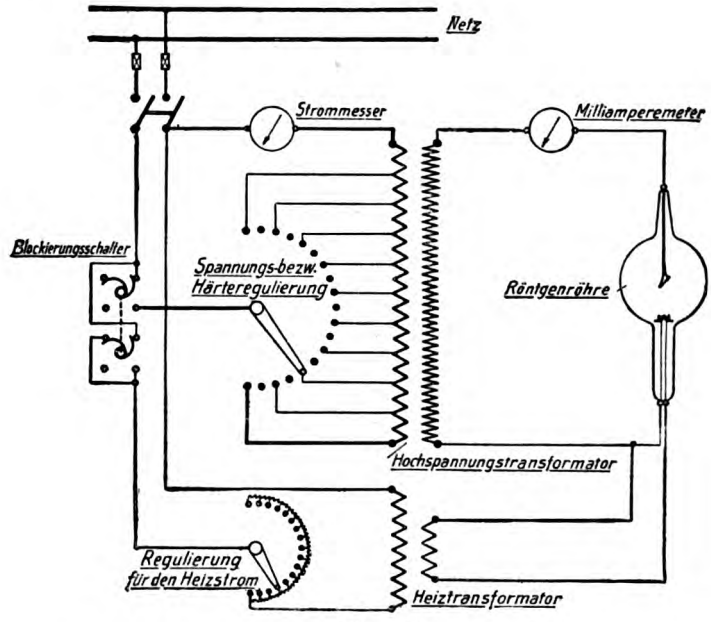


Fig. 622.
Schaltungsschema der Glühkathodenröhre von Siemens und Halske.

Aus dem Schaltungsschema Fig. 621 ist ersichtlich, daß die Glühkathode unter Zwischenschaltung eines Milli-Ampèremeters „M“ an den einen Pol des Hochspannungsapparates, die Antikathode an den anderen angeschlossen ist.

In Fig. 622 ist eine Schaltung eines Apparates von Siemens für Glühkathodenröhren schematisch dargestellt. Bei diesem Apparat ist in einfacher Weise die Härte der Röntgenröhre und die Intensität des durch sie fließenden Stromes unabhängig voneinander zu regulieren. Die Intensität wird um so größer, je höher die Temperatur des Glüh-

drahtes gewählt wird, während die Härte um so größer wird, je höher die an der Röntgenröhre liegende Spannung ist. Um letztere variieren zu können, wird eine größere oder kleinere Anzahl von Primärwindungen des Hochspannungstransformators eingeschaltet; die Intensität wird dagegen durch Regulierung des Heizstromes verändert.

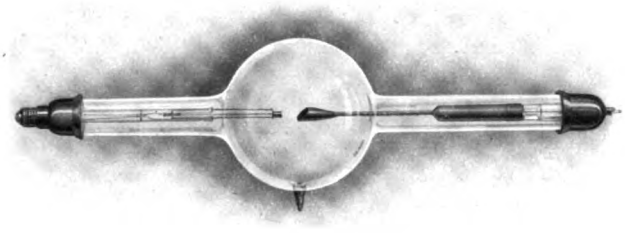


Fig. 623. Glühkathodenröhre ohne Antikathodenkühlung.

Die Coolidge-Röhre wird sowohl mit als ohne Antikathodenkühlung ausgeführt. Fig. 623 (Siemens) u. Fig. 624 (Groß-Metro-Röhre

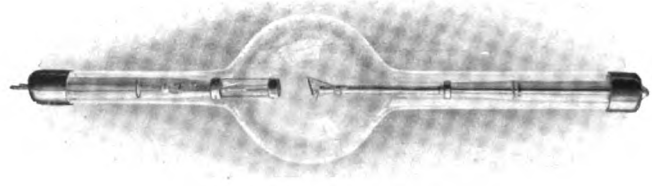


Fig. 624. Groß-Metro-Therapie-Röhre.

von Müller) zeigen solche Röhren der letzteren Art. Die Wolfram-Antikathode wird nach kurzer Zeit glühend und gibt dann die Wärme

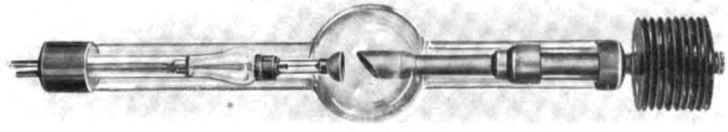


Fig. 625. Rippenkühl-Diagnostik-Coolidgeröhre.

durch Strahlung ab (Strahlungskühlung). Derartige Röhren dürfen nur mit Apparaten betrieben werden, welche ausschließlich Ströme einer Richtung liefern, da die glühende Antikathode auch die Ströme ungewünschter Richtung durchlassen würde. Bei den Coolidge-Röhren mit Antikathodenkühlung kann diese ähnlich wie bei den Ionenröhren in verschiedenster Weise, z. B. durch Kühlrippen erfolgen, Fig. 625

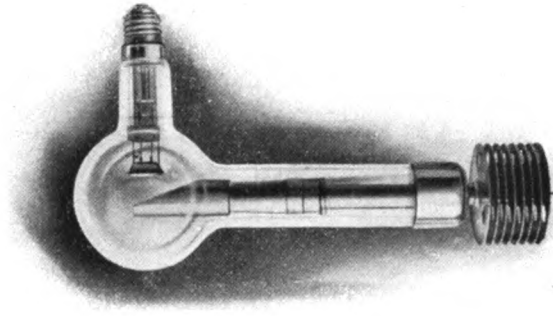


Fig. 626. Media-Dental-Röhre.

(Diagnostik-Röhre von Phönix) u. Fig. 626 (Media-Dental-Röhre von Müller), oder durch Wasserkühlung, wie Fig. 627 (Media-Wasserkühl-Diagnostikröhre von Müller) zeigt.

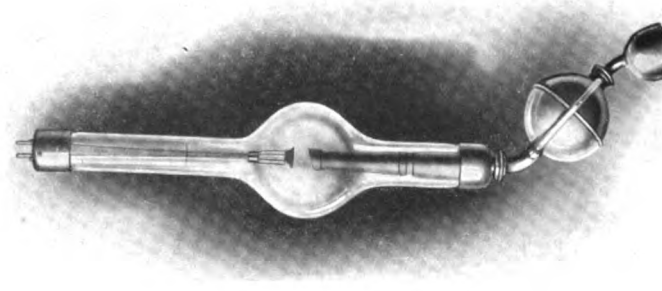


Fig. 627. Media-Wasserkühl-Diagnostikröhre.

Die Coolidgeröhren mit gekühlter Antikathode wirken im Gegensatz zu denjenigen mit ungekühlter Antikathode als Ventile, da bei dem hohen Vacuum nur Ströme von der nicht glühenden Elektrode zur glühenden verlaufen können.

Eine eigenartige Glühkathodenröhre (Siemens) ist in Fig. 628 abgebildet. Sie dient für den Bestrahlungskasten von Siemens (s. Fig. 641) und besitzt lange V-förmig angeordnete Elektrodenhälse. Dadurch kann die ganze Röhre leichter in einem vollständig geschlossenen Kasten untergebracht werden, was für die von mir angegebene und durch D. R. Patent geschützte Bestrahlungsmethode zweckmäßig ist.

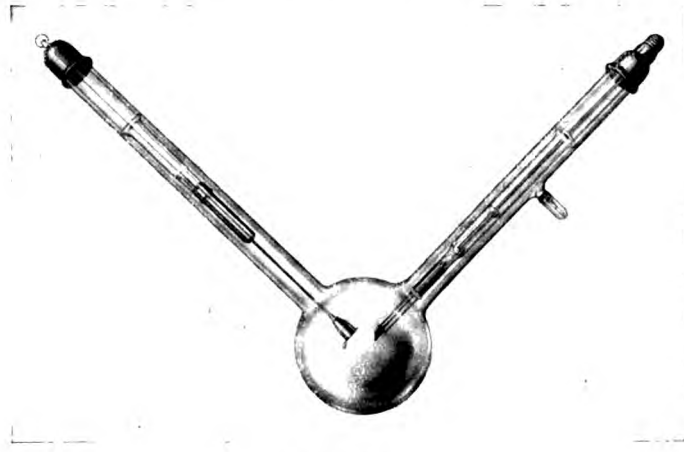


Fig. 628.
Therapie-Glühkathodenröhre für den Siemens-Bestrahlungskasten.

Nach letzterer ist der Patient sowohl vom Röntgenapparat als der Röhre als auch deren Zuleitungen vollständig getrennt, ist also auch vollkommen gegen Ozon und nitrose Gase geschützt (s. S. 915).

Um die gleiche Röhre mit kleinem Fokus (für scharfe Durchleuchtungen und Aufnahmen) und mit großem Fokus (für Hochleistungsaufnahmen) verwenden zu können, hat Phönix die Dofok-Röhre (Doppel-Fokus-Röhre) konstruiert, deren Kathode zwei Glühfäden besitzt, die wahlweise benützt werden können, je nachdem der Glühstrom an den einen oder anderen angelegt wird (Fig. 629 u. 630). Hierdurch

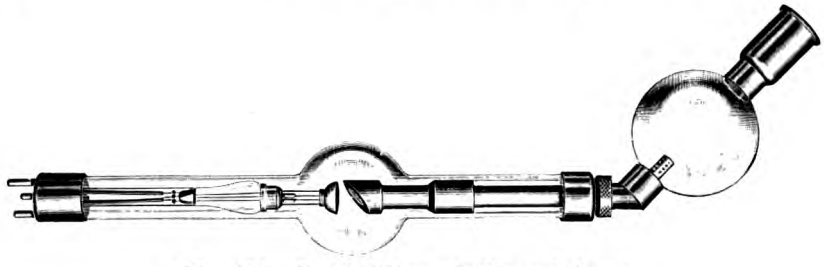


Fig. 629. Dofok-Röhre mit Wasserkühlung.

kann man in einfacher Weise unmittelbar nach einer Durchleuchtung mit scharfzeichnender Röhre eine Hochleistungs-Moment-Aufnahme vornehmen.

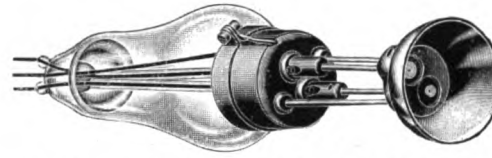


Fig. 630. Doppelglühkathode der Dofok-Röhre.

Die Elektronenröhren für diagnostische Zwecke erreichen die Präzisions-Ionenröhren (s. S. 881) in bezug auf Schärfe der Bilder im allgemeinen nicht. — Um auch eine stärkere Belastung von scharf zeichnenden Röhren zu ermöglichen, ohne daß das Antikathodenmaterial geschädigt wird, habe ich im Jahre 1917 Röhren hergestellt, welche einen linienartigen Brennfleck hatten und habe nur die Röntgenstrahlen, die in oder nahezu in Richtung dieser Linie austreten, zur Bilderzeugung verwendet. Dadurch, daß der linienartige Brennfleck sehr viel größere Belastung aushält als der punktförmige, und daß die in bezw. nahezu in Richtung der Linie austretenden Röntgenstrahlen ebenso scharfe Bilder erzeugen wie die von einem Punkt bezw. einer kleinen Fläche ausgehenden, konnte ich sehr scharfe und relativ hochbelastbare Röhren herstellen. Den linienartigen Fokus erzeugte ich dadurch, daß ich ein Kathodenstrahlbündel von sehr geringem Querschnitt unter einem sehr spitzen Winkel auf die Antikathodenfläche fallen ließ. Götze hat zu gleichem Zwecke einen linienartigen Brennfleck bei Elektronenröhren erhalten, indem er statt eines spiralförmigen einen geradlinigen Glühdraht verwendete. Die obenerwähnten Media-Röhren (s. Fig. 626 u. Fig. 627) sind nach diesem Prinzip konstruiert und geben daher relativ große Bildschärfe auch bei hoher Belastung.

Man hat vielfach versucht, Röntgenröhren statt aus Glas aus Metall herzustellen, um sie stärker belasten zu können und um ihre Zerbrechlichkeit zu vermindern. Es sind auch für wissenschaftliche, insbes. röntgenspektrometrische Zwecke, solche Metallröhren vielfach verwendet worden. Eine der Elektroden mußte in diese Röhren natürlich isoliert (mittels Glas, Porzellan usw.) eingeführt werden, und da die Einführungsstelle nicht vollkommen luftdicht herzustellen war, mußten derartige Röhren dauernd mit einer Luftpumpe verbunden bleiben, um die eingedrungene Luft jeweils wieder entfernen zu können.

Neuerdings ist es der Glühlampenfabrik von Philips in Eindhoven gelungen, eine

Metall-Glühkathoden-Röntgenröhre

zu konstruieren, welche vollkommen dicht hält, also ohne Luftpumpe funktioniert. Fig. 631 zeigt die äußere Form, Fig. 632 einen Querschnitt durch die Philips-Röhre. Die genannte Firma stellte mir freundlichst die nachstehende Beschreibung ihrer Metall-Röhre zur Verfügung,

Fig. 631.
Metallröntgenröhre von Philips.

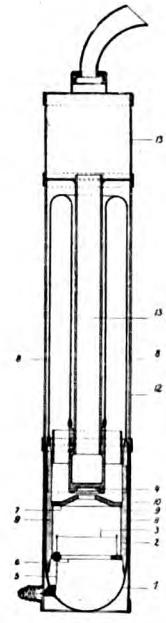


Fig. 632.
Querschnitt durch die Metallröntgenröhre von Philips.

die ich gelegentlich einer Demonstration in der Röntgen-Society in London Ende 1923 in Betrieb sah:

„Bei den jetzt gebräuchlichen Röntgenröhren liegt der Übelstand vor, daß die Röntgenstrahlen nicht nur dort aus der Röhre austreten, wo sie nötig sind, sondern in allen Richtungen, und nur zu oft hat die Praxis erwiesen, daß es sehr schwer ist, eine genügende Abschirmung anzubringen.

In der neuen Röhre ist versucht worden, die genannte Schwierigkeit zu beheben.

Der Grundgedanke der neuen Röhre ist folgender:

In einem Metallgefäß, in welchem eine Elektronenquelle, z. B. ein Glühfaden angebracht ist, der in Bezug auf das Gefäß ein genügend positives Potential hat, wird sich kein einziges Elektron von dem Glühfaden nach dem Gefäß bewegen.

Daß die Konstruktion der neuen Röhre gelungen sein dürfte, ist größtenteils der Tatsache zu verdanken, daß ein Material gefunden wurde, das leicht an Glas gelötet werden kann und vollkommen dicht ist. Dieses Material ist eine Chromeisenlegierung, die in einem etwas anderen Verhältnis der Komponenten bekannt ist als rostfreies Metall, z. B. als „Firth's stainless Steel".

In Figur 632 ist die neue Röntgenröhre mit Metallhülle veranschaulicht. Die Glühkathode 3 ist innerhalb des Metallgefäßes 9 angebracht. An der Wandung des Metallgefäßes ist ein Metalldeckel 7 befestigt, der eine Öffnung besitzt, vor der die Antikathode 4 mit einem Teil ihrer Oberfläche angebracht ist. Die Antikathode ist mittels der Glasröhre 8 gegen das Metallgefäß 9 isoliert. Die Entfernung der Antikathode von der Öffnung in der Metallplatte 7 beträgt nur wenige Millimeter. Die Abmessungen dieser Öffnung sind derart gewählt, daß das positive Feld der Antikathode genügend Elektronen an sich zieht.

Weiter sind die Öffnung des Metallgefäßes 7 und die Antikathode derart gestaltet, und in Bezug aufeinander so angeordnet, daß die Kathodenstrahlen die Antikathode nur in einer kleinen Fläche treffen können und somit ein scharfer Fokus entsteht.

Der Antikathode gegenüber befindet sich im Metallgefäß ein Fenster zum Durchlassen der ausgelösten Röntgenstrahlen. Dieses Fenster besteht aus einer luftdicht mit der Metallwandung verschmolzenen Glaskappe 1, während eine ringförmige Metallplatte 6, z. B. aus Eisen, an der die Zuführungsdrähte der Glühkathode befestigt sind, die Röntgenstrahlen abschirmt. Die austretenden Strahlen bilden also ein kegelförmiges Bündel, dessen Spitze im Brennfleck liegt, dessen Achse mit der Röhrenachse zusammenfällt und das von den Metallrändern der Platte begrenzt wird.

Außer diesem kegelförmigen Bündel treten keine Strahlen aus, da die Wände 9, 10 und 11 aus Chromeisen, Blei und Kupfer so dick gewählt sind, daß sogar die intensivsten Strahlen bis auf weniger als ein Millionstel abgeschwächt werden. Der Zuführungsdraht 5 für die Glühkathode ist isoliert durch den Metallring 6 hindurchgeführt und ist in der Glaskappe 1 eingeschmolzen. Der andere Zuführungsdraht wird von der leitenden Verbindung des Poles 2 mit dem Metallring 6 und von der Metallhülle 9 gebildet.

Als wesentlicher Vorteil der neuen Röhre kann noch auf den verbesserten Nutzeffekt hingewiesen werden, d. h. also bei demselben Strom und bei derselben Spannung wird eine größere Intensität der Röntgenstrahlen erzielt, und zwar aus mehreren Gründen:

1. ist die Intensität der senkrechten von der Antikathode ausgehenden Strahlen etwas größer als bei den in den gebräuchlichen

Röhren beispielsweise unter einem Winkel von 60° mit der Normalen austretenden Strahlen;

2. haben Unebenheiten auf dem Antikathodenspiegel hier durchaus keinen nachteiligen Einfluß, während in Röhren, wo die Röntgenstrahlen in schräger Richtung von der Antikathode ausgehen, dieselben von den Rändern der Unebenheiten auf der Antikathode absorbiert werden;

3. erreicht in jeder Periode der angelegten Wechselspannung der Strom durch die Röhre erst dann einen erheblichen Wert, wenn die Spannung sich dem Maximum nähert, sodaß bei niedriger Spannung weniger Energie verbraucht wird, als in vielen anderen Röhren."

b) Elektronenröhren mit kalter Kathode (Äonen-Röhre).

Auch diese Röhren sind zuerst von I. E. Lilienfeld angegeben worden. Wenn sie auch bis jetzt noch nicht in größerem Maß praktische Verwendung fanden, sollen sie doch hier angeführt werden, da sie möglicherweise noch große Bedeutung gewinnen werden. Lilienfeld fand (Verhandl. d. Deutsch-Physikal. Ges. [3] II, S. 13—17, 1921 und Physikal. Z. S. 23, S. 506—11, 1922), daß zwischen einer nicht erhitzten, spitzen- oder schneidenförmigen Kathode und einer beliebigen, etwa plattenförmigen Anode, auch bei höchstem Vacuum Entladungen übergehen, wenn die Entfernung der beiden Elektroden eine geringe und wenn die elektrische Spannung eine genügend hohe ist. Von der Kathodenspitze oder -Schneide gehen unter diesen Bedingungen Kathodenstrahlen aus, die auf der gegenüberliegenden Anode Röntgenstrahlen erzeugen.

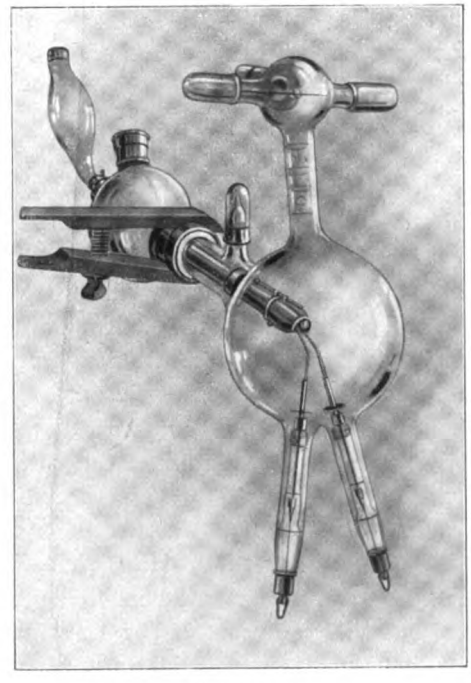


Fig. 633.
Äonen-Röhre nach Lilienfeld.

Je schärfer die Spitze ist, desto geringer ist der Übergangswiderstand, desto weicher sind die Röntgenstrahlen. Fig. 633 (Koch & Sterzel) zeigt eine solche Röhre mit 2 verschieden scharfen Spitzen, die unabhängig von-

einander als Kathoden verwendet werden können, und somit verschieden harte Strahlen erzeugen.

Unerwarteterweise fand Lilienfeld, daß auch an der Kathodenspitze Röntgenstrahlen auftreten, die möglicherweise als „Beschleunigungs"-Röntgenstrahlen zu erklären sind. Ähnlich wie bei schneller Bremsung der Kathodenstrahlen die Brems-Röntgenstrahlen entstehen (s. Prakt. Röntgenphysik, Bd. I, S. 13), so können auch bei plötzlicher Beschleunigung der Kathodenstrahlen „Beschleunigungs-Röntgenstrahlen" auftreten. Ob diese Erklärungsmöglichkeit zutrifft, oder die von Schottky angegebene (Über kalte und warme Elektronenentladungen, Z. S. f. Physik XIV, S. 63—106, 1923), daß die aus der Spitze austretenden Elektronen auf die vor der Spitze befindlichen, zusammengedrängten Ionen stoßen und an diesen Brems-Röntgenstrahlen erzeugen, werden zukünftige Untersuchungen entscheiden.

III. Hilfs-Vorrichtungen und Utensilien.

Nachdem im Vorstehenden die wesentlichsten Teile des Röntgen-Instrumentariums — die Vorrichtungen zur Erzeugung von geeigneten Hochspannungsströmen und diejenigen zur Umwandlung der letzteren in Röntgenstrahlen — eingehend behandelt worden sind, sollen nun einige der für den praktischen Röntgenbetrieb wichtigsten Hilfsvorrichtungen angeführt werden. Teils dienen diese dem sicheren und bequemen Arbeiten mit den Röntgenstrahlen, teils der Herstellung von Röntgenbildern, teils den therapeutischen Anwendungen. Die Zahl der Konstruktionen dieser Hilfsapparate ist außerordentlich groß; ihre eingehende Beschreibung würde den Raum mehrerer Bände einnehmen. Da jedoch in den einzelnen Kapiteln bereits verschiedene dieser Nebenapparate angegeben sind, da ferner eigene Kapitel über die Dosimetrie und Therapie in diesem Lehrbuch vorgesehen sind, sollen in Anbetracht des beschränkten Raumes nur einige der wichtigsten Apparattypen und Vorrichtungen beschrieben werden. Zu diesem Zwecke werde ich ein mit den verschiedensten Hilfsvorrichtungen versehenes Röntgenlaboratorium schildern, das sowohl für Diagnostik als Therapie dienen soll. Hierbei bietet sich Gelegenheit, bei Besprechung der einzelnen Apparate auf verschiedene Ausführungsformen hinzuweisen. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß für praktische Zwecke durchaus nicht alle in diesem „Universal-Röntgen-Laboratorium" aufgestellten Apparate und Vorrichtungen erforderlich sind; für die meisten Röntgenlaboratorien kommen nur einzelne derselben in Frage.

A. Hilfsapparate und Einrichtungsgegenstände.

Fig. 634 stellt den Grundriß des obenerwähnten Laboratoriums dar. Es bedeutet: „A" den Hochspannungsapparat, der für den Fall der Verwendung von elektrolytischen Unterbrechern durch Leitungen „a 1" mit den außerhalb des Röntgenraumes (Vorzimmer, Boden-

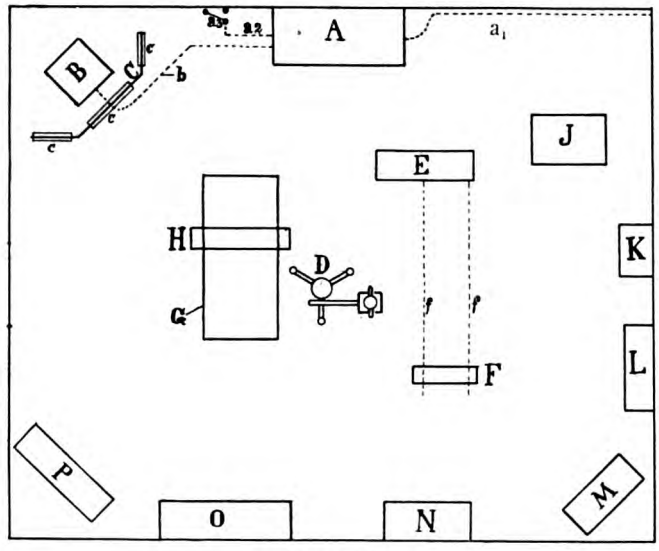


Fig. 634.
Schema eines Universal-Röntgenlaboratoriums.

oder Kellerraum etc.) befindlichen Unterbrechern verbunden ist. „a 2" ist die zu dem Hochspannungsapparat führende Starkstromzuleitung, die durch einen an der Wand befindlichen Hauptschalter „a 3" vom Apparat vollständig getrennt werden kann.

Es bedeutet ferner:

„B" einen Schalttisch,
„C" eine Schutzwand,
„D" ein Röhrenstativ,
„E" ein Untersuchungsstativ,
„F" ein Fernstativ,
„G" einen Lagerungstisch,
„H" eine Fixierungs-, Kompressions- bezw. Blenden-Vorrichtung,
„J" einen Orthodiagraphen,
„K" einen Röntgen-Stereo-Aufnahmeapparat,
„L" einen Röntgen-Stereo-Besichtigungsapparat,

„M“ einen Röntgen-Kinematographen,
„N“ einen Röntgen-Kymographen,
„O“ ein Röhrengestell,
„P“ einen Aufbewahrungsschrank.

B. **Der Schalttisch**

steht zweckmäßig durch flexible, in einer metallischen Schutzhülle befindliche Leitungen „b“ mit dem Hochspannungs-Apparat „A“ in Verbindung, sodaß vom Schalttisch aus sowohl die Ein- und Ausschaltung des Stromes, als auch alle Regulierungen und Umschaltungen im Primärstromkreis, sowie die Einschaltung verschiedener Unterbrecher vorgenommen werden können. Auf dem Schalttisch sind

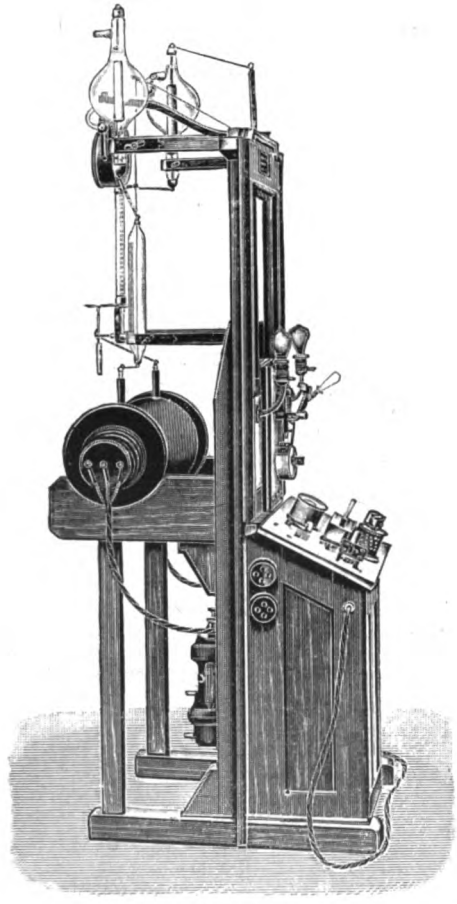


Fig. 635.
Intensivstrom-Apparat, kombiniert mit Schalttisch und Schutzwand.

ferner vorgesehen: ein Ampèremeter zur Messung der Primärstromstärke, ein Zeitschalter (Gocht-Uhr), welcher nach Ablauf der eingestellten Zeit den Strom automatisch ausschaltet, eine Vorrichtung zur Aufnahme der Blitzpatrone für Blitzaufnahmen und eine Beleuchtungseinrichtung.

Statt den Schalttisch vom Hochspannungsapparat räumlich zu trennen (Fig. 553, S. 839), wie in unserem Schema angenommen, können beide, wie Fig. 635 zeigt, miteinander verbunden sein. Dies kann z. B.

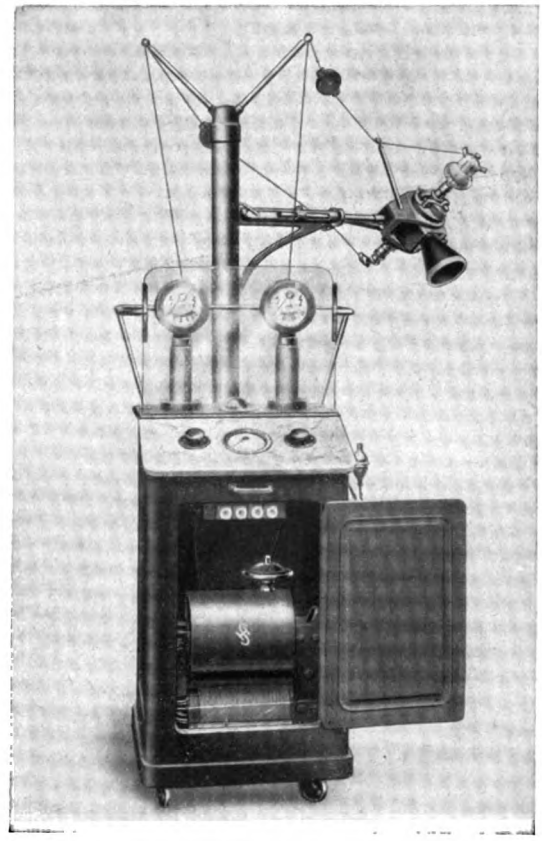


Fig. 636.
Kleiner Diagnostik-Apparat für Coolidgeröhren mit Röhrenstativ.

geschehen, indem der Hochspannungsapparat an der einen Seite der mit Bleiglasfenstern versehenen Schutzwand angebracht ist, die Schaltapparate auf der anderen. Für kleinere Apparate werden derartige Anordnungen auch fahrbar ausgeführt und mit verstellbarem Röhrengestell versehen, wie z. B. Fig. 636 (Siemens) zeigt. Dieser kleine

Diagnostik-Apparat „Explorator“ für Coolidge-Röhren besitzt einen im Innern des fahrbaren Kastens untergebrachten Transformator. Die Gleichrichtung des hochgespannten Wechselstroms besorgt die mit Antikathodenkühlung versehene Coolidgeröhre selbst (s. S. 902).

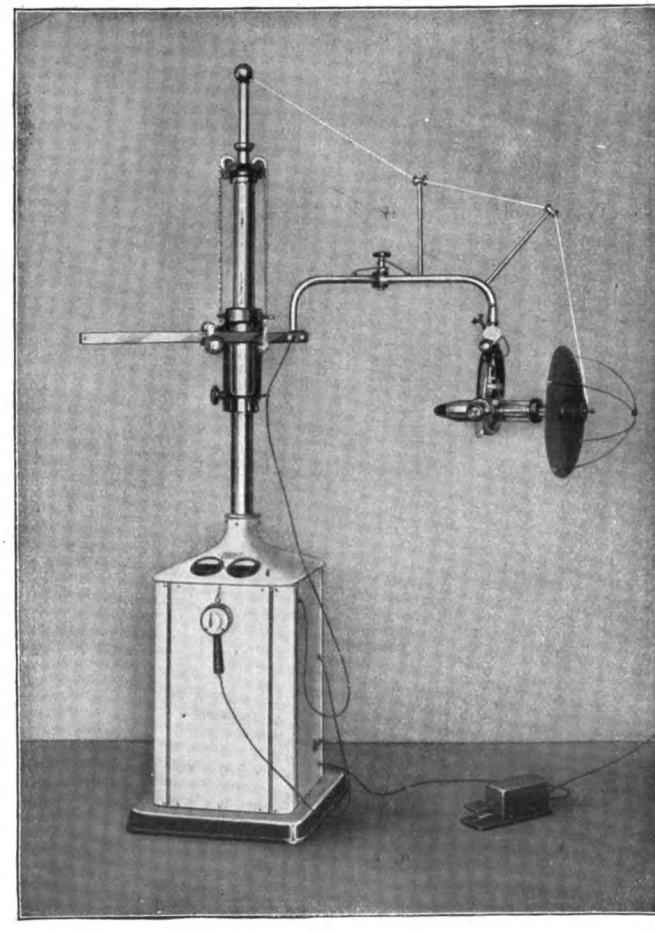


Fig. 637.
Spezialapparat für zahnärztliche Zwecke.

In Fig. 637 ist ein kleiner Spezialapparat für zahnärztliche Zwecke, der „Dental-Heliodor-Apparat“ (Veifa) dargestellt.

Ein anderer kleiner fahrbarer Apparat für Coolidgeröhren, bei welchem der Schalttisch vom Transformator getrennt ist, der „Universal-Heliodor“ (Veifa) ist in Fig. 638 abgebildet, während Fig. 639 einen Wand-Apparat (Reiniger) mit Gasunterbrecher zeigt.

Welche dieser Anordnungen den Vorzug verdient, kann nicht allgemein entschieden werden. Es hängt dies von den räumlichen Verhältnissen, sowie von der Art und Größe des Hochspannungsapparates, wie überhaupt des ganzen Röntgenlaboratoriums ab. Für große Einrichtungen ziehe ich im allgemeinen die im Schema Fig. 634 angedeutete vor, für mittlere die in Fig. 635 und für kleine die in Fig. 636 dargestellten.

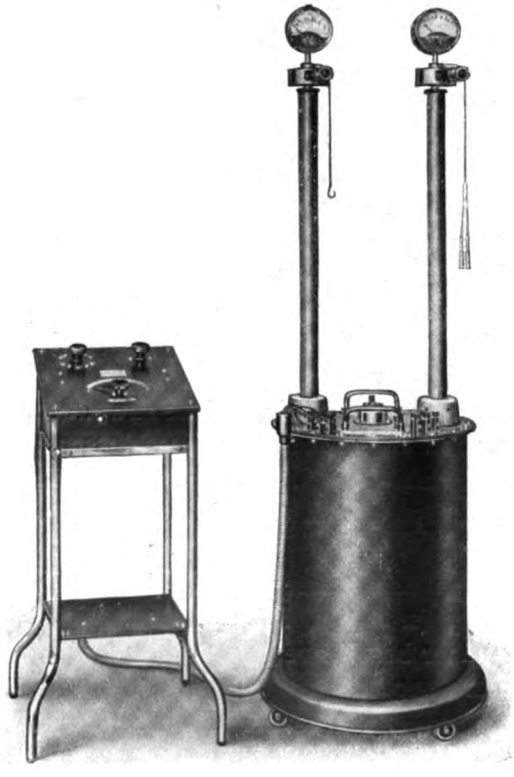


Fig. 638.
Heliodor-Apparat.

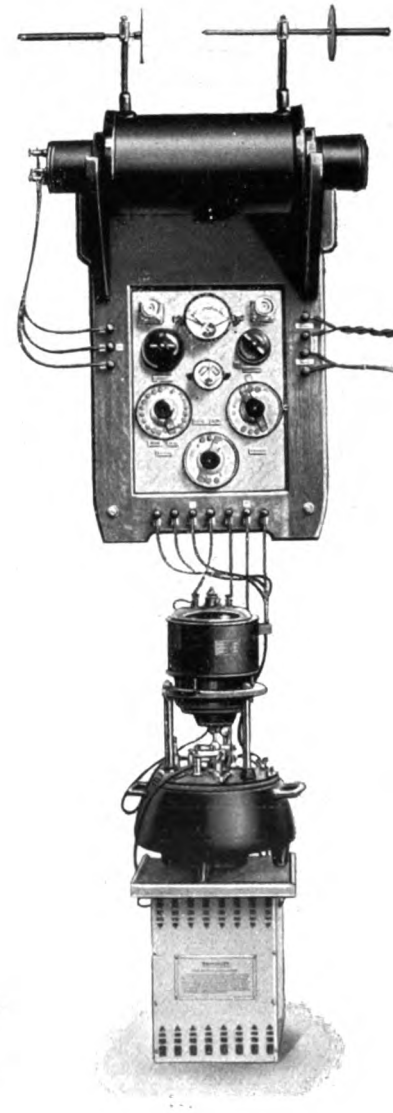


Fig. 639.
Wand-Apparat mit Gasunterbrecher.

C. **Die Schutzwand**

ist entweder direkt mit dem Schalttisch verbunden (Fig. 635) oder vor demselben aufgestellt (wie im Schema Fig. 634 skizziert). Sie besteht aus einem Holzgestell, das mit dickem Bleiblech belegt ist; besser noch wird das Bleiblech zwischen zwei Holzwänden befestigt. Die Schutzwand wird für kleinere Laboratorien gewöhnlich einteilig, Fig. 640 (Reiniger) gewählt; für größere besteht sie aus einigen evtl. auch mit Schiebetüren versehenen Teilen, besonders wenn mehrere Personen hinter ihr Platz finden sollen.

Fig. 640.
Einfache Schutzwand.

Zweckmäßig wird die Schutzwand an verschiedenen Stellen mit dicken Bleiglasfenstern versehen, durch welche der gesamte Röntgenraum überblickt werden kann.

Bei guten Röntgen-Einrichtungen ist die Röntgenröhre selbst stets von einem möglichst strahlensicheren Schutzgehäuse umgeben. Außerdem soll — wenigstens bei länger dauernden therapeutischen Bestrahlungen mit harten Strahlen — immer dafür gesorgt werden, daß die Schutzwand sich hinter der Antikathode der Röhre befindet. Unter diesen Bedingungen ziehe ich eine genügend hohe und breite Schutzwand einer kleinen Schutzkabine vor. Nur wenn man letzterer relativ große Dimensionen geben kann, würde ich eine solche anwenden, da ich den Nachteil, sich lange Zeit in einem kleinen abgeschlossenen Raum aufzuhalten, für größer halte, als den Nachteil der Sekundärstrahlen, die etwa noch seitlich oder von oben her hinter die große Schutzwand gelangen könnten.

Bei den Elektronenröhren treten auch hinter der Antikathodenfläche intensive Röntgenstrahlen auf (s. Lorey, Münch. Med. Woch. 1921, S. 1187). Der Schutz sollte daher bei Verwendung dieser Röhren ganz besonders sorgfältig ausgeführt werden.

Die hohen elektrischen Spannungen, welche bei tiefentherapeutischen Bestrahlungen angewandt werden müssen, erzeugen Ozon und nitrose Gase, die sowohl für den Patienten, als für den Arzt und das die Röntgenapparate bedienende Personal sehr nachteilig sein können. Um diese Gase sowohl wie die Sekundärstrahlung vollkommen aus-

zuschließen, habe ich im Jahre 1918 eine Vorrichtung zur therapeutischen Bestrahlung mittels Röntgenstrahlen angegeben (D. R. Patent), bei welcher sowohl der Röntgenapparat, als die Röntgenröhre und die Hochspannungsleitungen in einem Raum untergebracht sind, der von dem Raum, in dem sich der Patient, der Arzt und das Personal be-

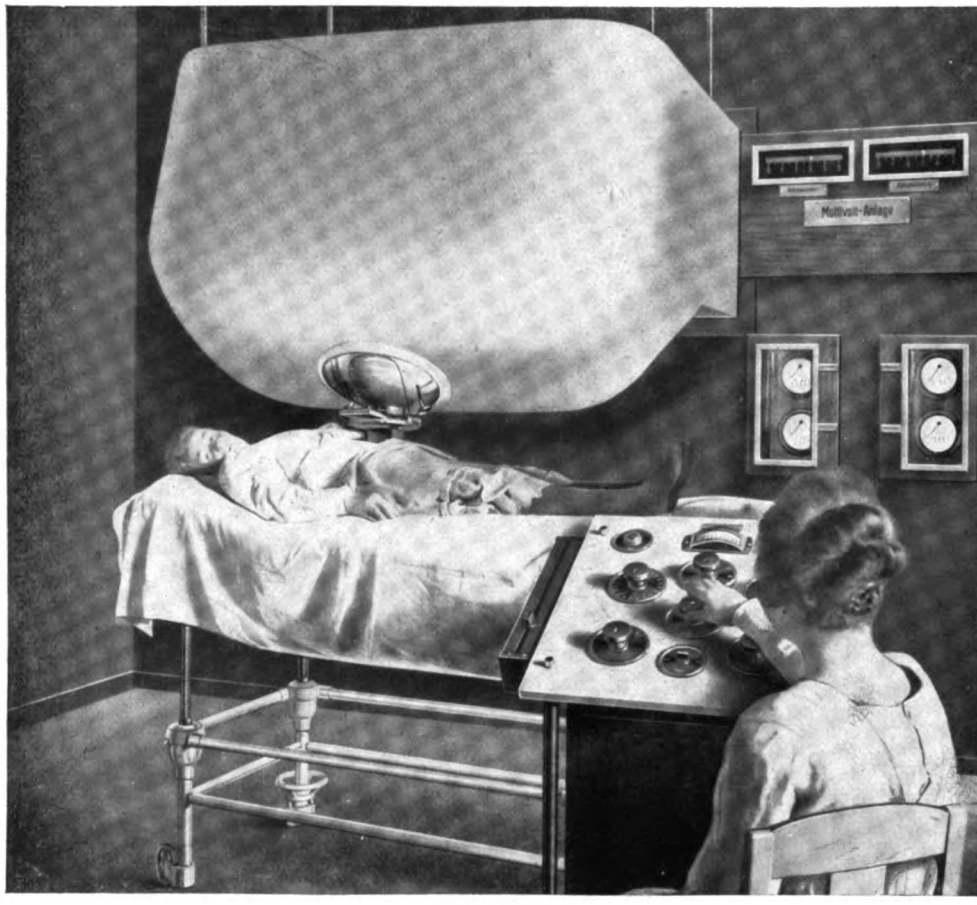


Fig. 641.
Siemens'scher Bestrahlungskasten für Tiefentherapie.

finden, vollkommen luftdicht, und bis auf das verwendete Röntgenstrahlenbündel auch strahlendicht getrennt ist. Die auf der Trennwand angeordnete auf einer Kugelkalotte allseitig verschiebbare Blendenvorrichtung gestattet es, die Röntgenstrahlen in jeder gewünschten Richtung auf den Patienten fallen zu lassen. Diese Anordnung, die wohl die vollkommenste aller Röntgenschutz-Vorrichtungen

darstellt, haben später Siemens u. Halske in ihrem „Siemens Bestrahlungskasten für Tiefentherapie“ benützt (Fig. 641). Der Patient befindet sich auf einem Lagerungstisch, dessen Tischplatte leicht in vertikaler und horizontaler Richtung verstellt werden kann.

D. **Das Röntgenröhrenstativ**

wird heute fast allgemein mit Röhrenschutzkasten ausgeführt. Ein einfaches Stativ ist das Lambertz'sche Fig. 642 (Reiniger). Auf

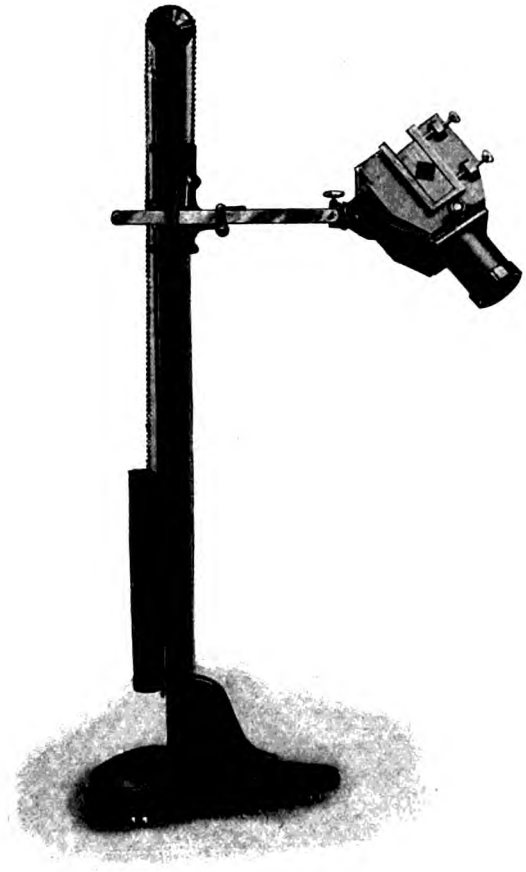


Fig. 642. Lambertz-Stativ.

einer vertikalen Holzsäule von quadratischem Querschnitt ist ein Querarm auf und ab bewegbar. Letzterer kann selbst wieder seitlich verschoben werden. Am Ende des Querarmes ist ein Kugelgelenk angebracht, an welchem sich der die Röhre tragende Schutzkasten

befindet. Da die gewöhnlichen Kugelgelenke nur geringe Exkursionen gestatten, während doch häufig größere erwünscht sind, habe ich beim Polyphos-Lambertz-Stativ ein von mir konstruiertes Kugelgelenk anbringen lassen, das den erwähnten Übelstand nicht aufweist (Fig. 689, S. 945).

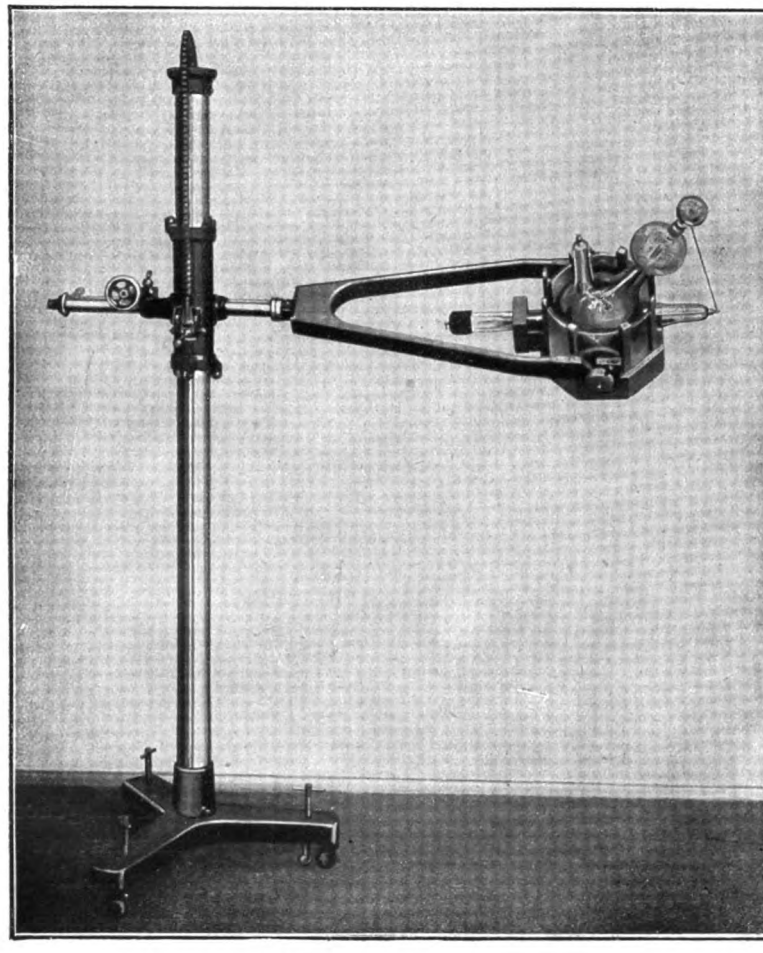


Fig. 643. Röhrenstativ mit gabelförmigem Arm.

Bei den in Fig. 643 (Reiniger) und 644 (Polyphos) dargestellten Metall-Stativen ist das schwere Schutzgehäuse nach allen Richtungen leicht beweglich und in jeder Lage festzustellen. Durch ein im Innern der Säule befindliches Gegengewicht ist auch die Vertikalbewegung unschwer auszuführen, so daß die Einstellung der Röhre eine schnelle und bequeme ist.

Das Schutzgehäuse für die Röhre ist entweder aus Bleiglas hergestellt oder aus Holz, das mit dickem Bleigummi versehen ist. Es ist meistens nur für denjenigen Teil der Röntgenröhre bestimmt, in welchem Röntgenstrahlen auftreten, damit die Dimensionen nicht zu groß werden, was natürlich für die Handlichkeit von Nachteil wäre. Die Befestigung der Röhre geschieht dann meist außerhalb des Schutzgehäuses mittels Klammern [aus Holz oder Isoliermaterial], welche die Röhre entweder an einem oder auch an zwei zylindrischen Ansätzen (gewöhnlich dem Kathoden- bzw. Anodenhals) festhalten. Bei Verwendung harter Röhren sollte man die Röntgenröhre stets nur an einer Stelle einspannen, da andernfalls leicht Entladungen von der einen Befestigungsstelle zur andern übergehen, welche die Röhre unter Umständen gefährden können.

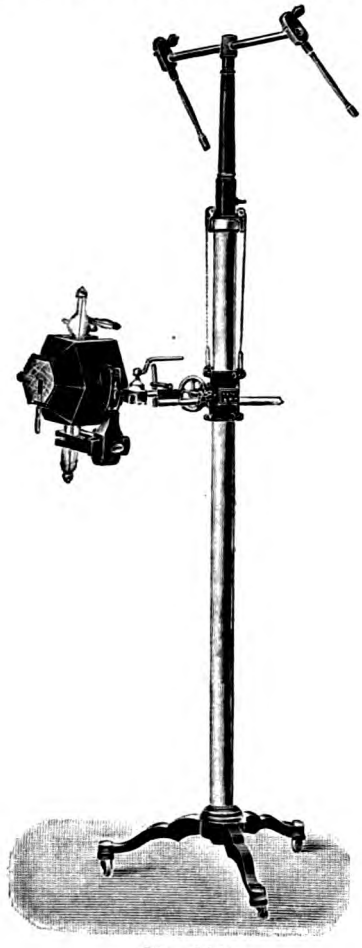


Fig. 644.
Röhrenstativ mit Kabelhalter.

Bei harten Ionenröhren ist zweckmäßig der Anodenhals, bei harten Elektronenröhren der Kathodenhals einzuspannen.

Mittels des sogenannten selbstzentrierenden Grödelschen Röhrenhalters Fig. 645 (Reiniger), der dauernd an der Röhre befestigt bleibt und mit letzterer vom Stativ abgenommen wird, kann die einmal zentrierte Röhre jederzeit schnell wieder in die gleiche Lage gebracht werden.

Um den Ausgangspunkt der Röntgenstrahlen genau senkrecht über eine bestimmte Stelle des aufzunehmenden Objektes zu bringen, sind an den Röhren-Schutzkästen meistens sogen. Zentrier-Vorrichtungen angebracht. Eine sehr einfache ist die von Grashey zuerst angegebene, Fig. 646. Sie besteht aus einem kleinen Senkel N, dessen Faden innerhalb eines horizontalliegenden Metallrohres E verschiebbar ist. An seinem freien Ende trägt der Faden ein Gegengewicht O, sodaß die Pendelspitze in beliebiger Höhe stehen bleibt. Nachdem die gewünschte Einstellung erfolgt ist, kann das Röhrchen mit dem

Pendel um die Achse M seitlich abgeschwenkt werden, wodurch vermieden wird, daß es sich im Röntgenogramm abbildet. — Während diese Zentrier-Vorrichtung nur zur Einstellung des Vertikal-Strahles

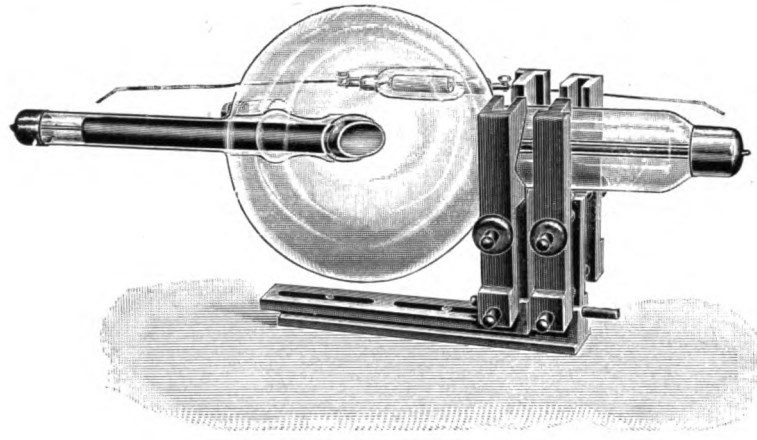


Fig. 645.
Selbstzentrierender Röhrenhalter nach Grödel.

verwendbar ist, kann die in Fig. 647 abgebildete für jede beliebige Neigung des Hauptstrahles benutzt werden.

Die in Gebrauch befindlichen Röhrenstative sind sehr verschiedenartig. Jede Röntgenapparate bauende Firma stellt im allgemeinen mehrere Formen her, einerseits solche, die sich durch Einfachheit und Billig-

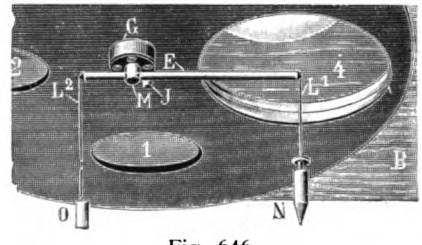


Fig. 646.
Zentriervorrichtung nach Grashey.

keit auszeichnen, andererseits solche, welche infolge großer Stabilität, bequemer Handhabung und universeller Verwendbarkeit kostspieliger sind. Eine besonders leichte Beweglichkeit der Röntgenröhre mit ihrem Schutzgehäuse hat Holzknecht mittels seines Schwebeblendenkästchens (Sommer, Wien) erreicht. Wie aus Fig. 647 ersichtlich, hängt das letztere, durch Gegengewicht ausbalanciert und nach allen Seiten frei beweglich, an einem Seil und ist mit Hilfe eines halbkreisförmigen Holzbügels,

der auf einer Laufrolle verschoben werden kann, auch nach jeder Richtung neigbar. Das so vollständig freischwebende Kästchen wird in

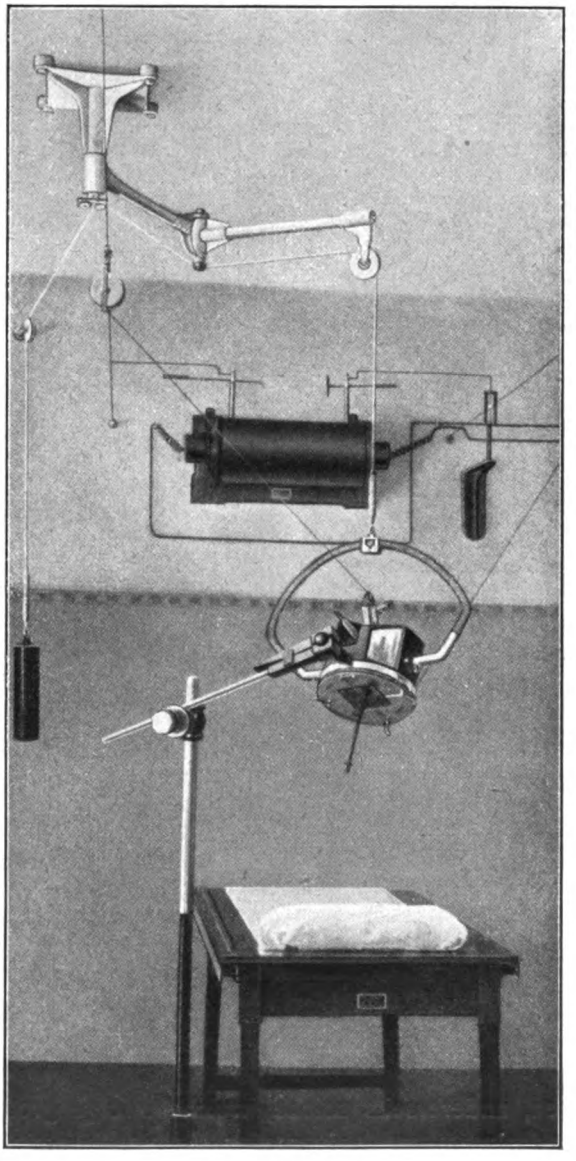


Fig. 647.
Schwebeblendenkästchen nach Holzknecht.

der jeweils gewünschten Stellung durch ein Fußstativ mit Arm und Universalgelenk festgehalten.

Eine neuere, einfachere Ausführungsform des Schwebekästchens für Coolidge-Röhren (nach Holzknecht und Bucky) wird von Siemens hergestellt (Fig. 648). Es benötigt kein Fußstativ und gestattet

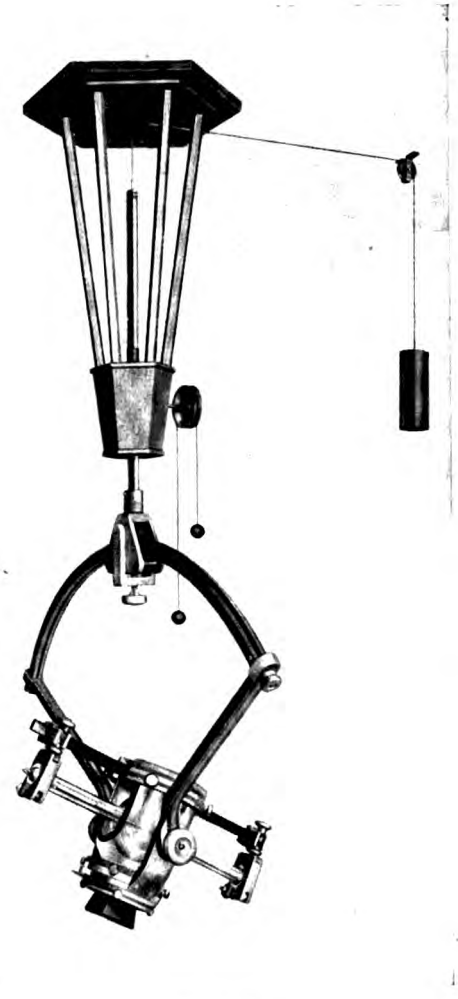


Fig. 648.
Schwebeblendenkästchen nach Holzknecht und Bucky.

Bewegungen in allen Richtungen bis auf diejenige in wagerechter Richtung, weshalb ein rollbarer Patiententisch verwendet werden muß, oder ein Tisch, dessen Tischplatte in wagrechter Richtung beliebig verschoben werden kann.

An den Schutzkästen fast aller Stative sind

Blenden

angebracht, mit deren Hilfe ein größerer oder kleinerer Strahlenkegel ausgeblendet werden kann. Solche Blenden, für welche gewöhnlich Bleiblech, Bleiglas oder Bleigummi verwendet wird, können die Form von aufsteckbaren Zylindern verschiedenen Durchmessers erhalten, oder als Iris- bzw. Schlitzblenden ausgebildet sein. Besonders gut hat sich die Doppelschlitzblende bewährt (s. Fig. 655), da sie gestattet, beliebige Längs- und Querformate auszublenden.

Der Zweck, den die Blende in der Röntgendiagnostik erfüllen soll, ist der gleiche wie derjenige der Blende in der Optik, nämlich die Erzielung eines schärferen Bildes; die Wirkung der Blende ist aber in beiden Fällen eine durchaus verschiedene. Während sie in der Optik die Randstrahlen der Linse ausschaltet, die das Bild verschlechtern, — da nur die Zentralstrahlen scharfe Bilder liefern — soll sie bei Erzeugung des Röntgenbildes die verschleiernde Sekundärstrahlung (s. Bd. I, Seite 42), besonders auch die Glasstrahlung der Röntgenröhre zurückhalten.

Die Glasstrahlung wird am besten durch kleine Blenden, die möglichst nahe der Röntgenröhre angeordnet sind, unschädlich gemacht. Für die gesamte Sekundärstrahlung, insbes. auch die vom Körper des Patienten ausgehende, hat sich die

Fig. 649.
Wabenblende nach Bucky.

Wabenblende

nach Bucky (s. Verhandl. d. Deutsch. Röntgen-Ges., Bd. IX, S. 30, 1913 u. Bd. XIII, S. 13, 1923) aufs beste bewährt. Fig. 649 stellt eine Durchleuchtungs-Wabenblende dar (Siemens). Sie besteht aus einer großen Zahl kleiner, nebeneinanderliegender Blenden, welche die Form von abgestumpften Pyramiden haben. Alle diese Pyramiden laufen gegen eine gemeinschaftliche Spitze zu, in welcher der Fokus der Röntgenröhre liegt. Wenn auch die aus strahlenundurchlässigem Material hergestellten dünnen Wandungen der einzelnen Pyramiden sich auf dem Leuchtschirm als dunkle Linien darstellen, so wird hierdurch doch im allgemeinen das Gesamtbild wenig gestört. Der große Vorzug der Buckyblende, die hinter dem Durchleuchtungsschirm — also zwischen diesem und dem Körper — sich befindet, besteht in folgendem:

Jede einzelne der abgestumpften Pyramiden wirkt als sehr kleine Blende, und diese verhindert, daß der größte Teil der vom Körper ausgehenden Sekundärstrahlung in das klein ausgeblendete Schirmbild

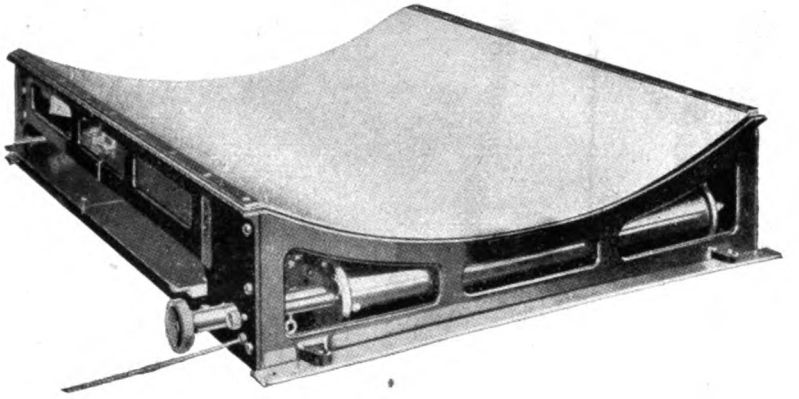


Fig. 650.
Potter-Bucky-Blende.

fällt. Besonders wertvoll ist die Buckyblende bei der Durchleuchtung sehr starker Patienten mit harten Strahlen, besonders bei Unter-

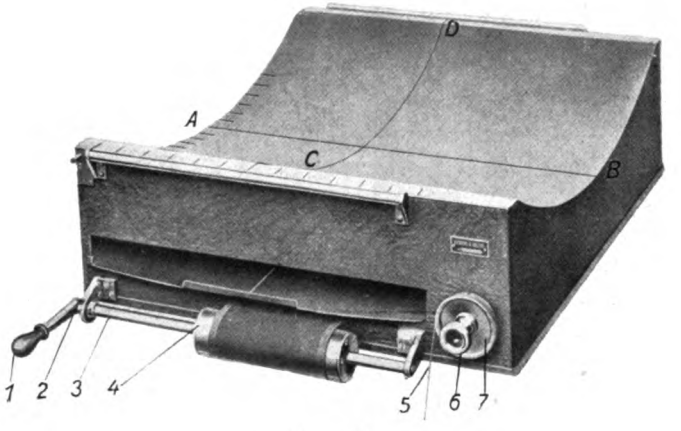


Fig. 651.
Bucky'sche Aufnahmeblende.

suchungen des Abdomens. Es ist klar, daß die einfache Buckyblende auch für photographische Zwecke angewandt werden kann. Weit besser eignet sich aber hierfür die Buckysche Aufnahme-Blende, die in Amerika als Potter-Bucky-Blende (s. Fig. 650, Victor) große

Anwendung fand und jetzt auch in Deutschland (Siemens) viel verwendet wird (s. Fig. 651). Während das Röntgenogramm bei der einfachen Wabenblende die Gitter-Zeichnung der Bleistreifen zeigt, ist dies bei der Aufnahmeblende dadurch vermieden, daß die Bleistreifen während der Aufnahme bewegt werden.

Bucky hat dies schon 1915 in seinem amerikanischen Patent, No 1164987, beschrieben; 1918 hat Lotzin (Fortschr. **25**. S. 326. 1918) eine Konstruktion angegeben, bei welcher zwei aufeinander senkrecht stehende Serien von Blendenstreifen bewegt werden und 1920 wurde von Potter (American Journ. of Röntg. VII, S. 292. 1920) die obenerwähnte Blende konstruiert, bei welcher nur eine Serie von Blendenstreifen in Bewegung gesetzt wird. Ackerlund (Acta Radiol. **1**. S. 480. 1922 u. **2**. S. 77. 1923 sowie Verh. d. D. R. **13**. S. 16. 1923) verwendet eine rotierende Scheibe mit spiralförmigen Bleibändern.

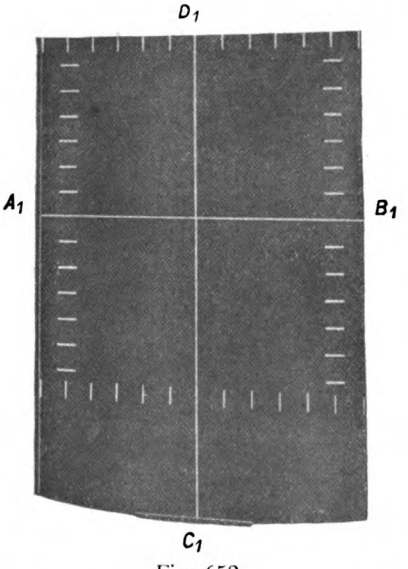


Fig. 652.
Plattenunterlage für die Bucky'sche Aufnahmeblende.

Die Bewegung der Bleistreifen erfolgt entweder durch Federkraft oder einen kleinen Elektromotor. Bei der in Fig. 651 abgebildeten Siemens'schen Ausführung ist, wie bei der Potter-Bucky-Blende, ersteres der Fall. Durch Herausziehen des Knopfes 6 werden zwei Zugfedern gespannt, durch Ziehen der Schnur 5 setzt sich die Bleistreifen-Blende in Bewegung und zwar derart, daß jeder Bleistreifen sich auf einer Cylinderoberfläche verschiebt, in deren Achse der Fokus der Röntgenröhre sich befindet.

Durch Drehen der Scheibe 7 kann die Ablaufszeit, entsprechend der kürzeren oder längeren Exposition, zwischen 2 und 150 Sekunden variiert werden. Dies wird in einfacher Weise mittels einer kleinen im Innern der Vorrichtung angebrachten Ölpumpe erreicht.

Die in einer Kassette befindliche photographische Platte wird auf dem Metallblech $A_1B_1C_1D_1$ (Fig. 652) unterhalb der Bleistreifen in den Apparat eingeschoben, so daß sich die Bleistreifen zwischen Körper und Platte befinden. Mit Hilfe eines Band-Kompressoriums 1, 2, 3, 4 (Fig. 651) kann der aufzunehmende Körperteil in bekannter Weise fixiert werden.

In Fig. 653 ist die Bucky'sche Aufnahmeblende mit zwei muldenförmigen Holzkörpern dargestellt, die eine bequeme Lagerung des Patienten bezwecken.

Den gleichen Zweck, den Bucky mit seiner Wabenblende anstrebte, hat für photographische Aufnahmen Pasche (Verhandl. d. Deutsch. Röntgen-Ges., Bd. I, S. 146, 1905) schon 1903 mittels zweier zwangläufig miteinander bewegter Blendenschlitze verfolgt. Der eine befand

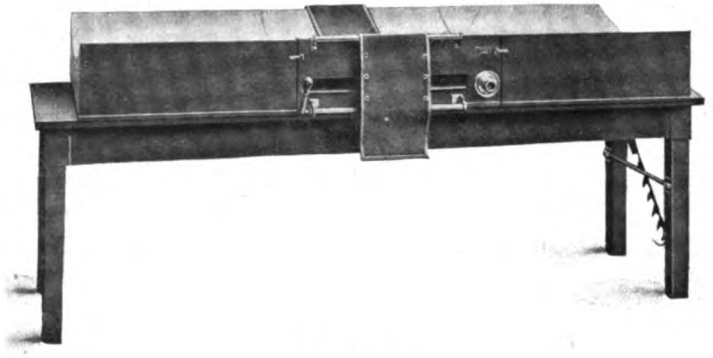


Fig. 653.
Bucky'sche Aufnahmeblende mit Lagerungsansätzen.

sich über dem Patienten, der andere zwischen Patient und Platte. Die Röntgenröhre war so angeordnet, daß die Strahlen stets durch beide Blendenschlitze hindurch auf die Platte fielen. Letztere wurde also stets nur von einem sehr schmalen Strahlenkegel getroffen. Größere praktische Verwendung hat die Pasche-Blende wegen der bedeutenden Vergrößerung der Expositionszeit und wegen ihrer Kompliziertheit nicht gefunden.

Die Röhrenkästen der Stative sind meistens derart gestaltet, daß

Filter

eingesetzt werden können, die in erster Linie für therapeutische Bestrahlungen Verwendung finden. Sie werden aber auch für Durchleuchtungen benötigt, um die ganz weichen Strahlen, welche die Haut besonders stark beeinflussen, zurückzuhalten. Gewöhnlich wird für Durchleuchtung $^1/_2$ oder 1 mm dickes Aluminium verwendet, für therapeutische Zwecke 1 bis 10 mm Aluminium, oder auch $^1/_2$ bis 1 mm Zink, Kupfer, Blei usw.

Die bisher beschriebenen Stative, welchen eine große Beweglichkeit der Röhre samt ihrem Schutzkasten eigen ist, sind sowohl für Durchleuchtungen und Aufnahmen als auch für Therapie verwendbar.

E. **Das Untersuchungsstativ**

dient ausschließlich oder vorwiegend zur Durchleuchtung und Aufnahme von Patienten im Stehen oder Sitzen. Fig. 654 (Seifert) stellt die Albers-Schönberg-Waltersche Bleikistenblende dar, welche die gesamte Röhre in sich aufnimmt, dadurch allerdings sehr guten Schutz gewährt, aber auch infolge des großen Gewichtes schwer beweglich wird. Sie ist nur in vertikaler Richtung (von Hand oder mittels eines Elektromotors) zu verstellen.

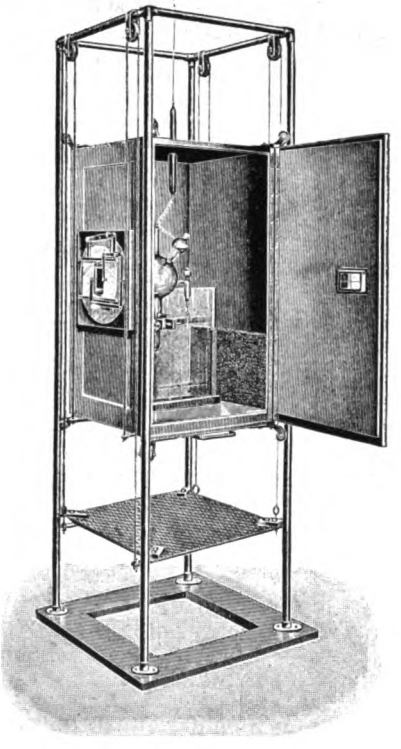


Fig. 654.
Bleikistenblende
nach Albers-Schönberg-Walter.

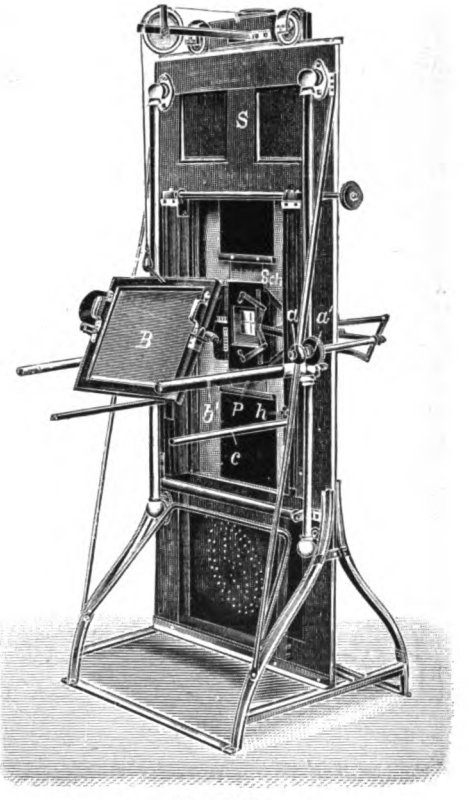


Fig. 655.
Riedersches Durchleuchtungsstativ.

Fig. 655 zeigt das Riedersche Durchleuchtungsstativ, das bei sehr gutem Schutz gegen Röntgenstrahlen in bequemer Weise Durchleuchtungen von stehenden oder sitzenden Personen vorzunehmen gestattet. Der an zwei Seilen hängende Durchleuchtungsschirm B bewegt sich gleichzeitig und gleichsinnig mit der in einer Bleiglashaube befindlichen Röhre nach oben und unten, sowie auch seitlich. Bei der neueren Ausführungsform des Rieder-Stativs kann auch

die Bewegung des Schirmes unabhängig von derjenigen der Röhre vorgenommen werden. Die Doppelschlitzblende wird vom Beobachter mittels der beiden Handrädchen a und a′ während der Durchleuchtung nach Belieben eingestellt, während ein an der Blende anbringbares Fadenkreuz den Zentralstrahl anzeigt.

Um den Durchleuchtungsschirm an den Patienten andrücken und feststellen zu können, was besonders für Aufnahmen, die sich der Durchleuchtung unmittelbar anschließen sollen, wünschenswert ist, hat Lenz eine einfache Schnurfixation des Durchleuchtungsschirmes angegeben, deren Wirkungsweise aus Fig. 656 leicht erkennbar ist. An der Rückseite des Durchleuchtungsschirmes ist unten eine kleine Leiste angebracht, auf welche die Platte bzw. Kassette gestellt werden kann.

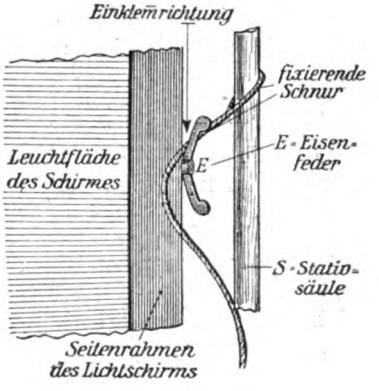


Fig. 656.
Schnurfixation des Leuchtschirmes nach Lenz.

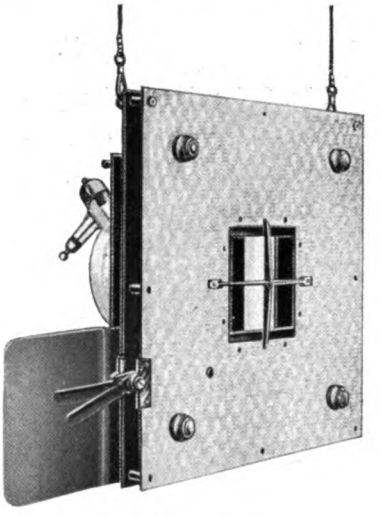


Fig. 657.
Hängeblende nach Holzknecht-Kienböck.

Sowohl die bewegliche als die feststehende Wand des Rieder-Stativs sind mit Blei belegt; außerdem ist, wie erwähnt, die Röntgenröhre in einem Bleiglasschutzgehäuse befestigt. Wenn daher die Blendenöffnung stets nur so groß gewählt wird, daß das Bleiglas des Schirmes B den ganzen Strahlenkegel auffängt, so kann der Beobachter nie von Strahlen getroffen werden, welche nicht bereits durch Blei oder Bleiglas hindurchgegangen sind.

Die Hängeblende nach Holzknecht und Kienböck zeichnet sich durch ihre Einfachheit und die leichte Beweglichkeit der Röhre aus. Eine an zwei Seilen ausbalanciert aufgehängte Doppelschlitzblende, Fig. 657 (Sommer) trägt die von einer Klammer gehaltene Röhre und kann von Hand hinter einer strahlendurchlässigen Wand,

gegen welche sich der Patient anlehnt, beliebig geführt werden. Der Durchleuchtungsschirm hängt — gleichfalls durch Gegengewichte ausbalanciert — an zwei Seilen, so daß die Bewegung von Schirm und Röhre nur unabhängig voneinander erfolgen kann.

Bei den drei letzterwähnten Untersuchungsstativen ist die Röntgenröhre nur in einer Vertikalebene verschiebbar. Bei dem Beclèreschen (Reiniger), Wenckebachschen (Siemens) usw. ist die Bewegung der Röntgenröhre auch in einer Horizontalebene möglich; jedoch sind auch bei diesen Stativen Schirm und Röhre nur unabhängig voneinander bewegbar. Auf einige der sogenannten Universalstative komme ich noch zurück (s. S. 940).

F. **Das Fernstativ.**

Fig. 658 zeigt dasjenige nach May, das sowohl zu Fernaufnahmen (Teleröntgenographie) als Ferndurchleuchtungen dient, und in Verbindung mit irgend einem Röhrengestell zu verwenden ist. Zweckmäßig wird es auf Schienen fahrbar angeordnet, sodaß es schnell in verschiedene Entfernungen von der Röntgenröhre gebracht werden kann. Der den Durchleuchtungsschirm oder die photographische Platte tragende Rahmen ist, durch Gegengewichte ausbalanciert, in der Höhe verschieb- und feststellbar. In der Figur links unten ist ein Plattenhalter abgebildet, der in den Rahmen eingesetzt werden kann und mit verschiebbaren Klammern zum Festhalten der photographischen Platte versehen ist. Das in der Figur dargestellte Stativ ist unterhalb des Rahmens für den Durchleuchtungsschirm mit Bleiblechschutz versehen, damit bei der Ferndurchleuchtung der Beobachter gegen die Strahlung geschützt ist.

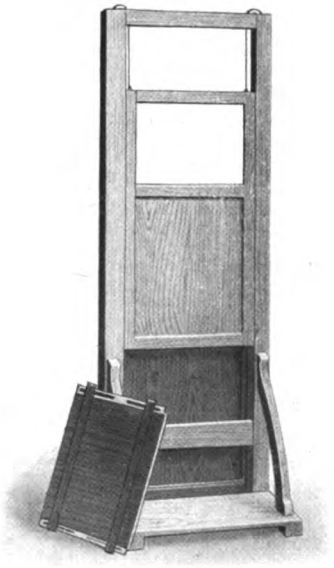


Fig. 658.
Fernstativ nach May.

Ein einfaches Fernstativ, welches gleichfalls sowohl für Aufnahmen als Durchleuchtungen bestimmt ist, ist das in Fig. 659 dargestellte Köhlersche Aufnahmestativ, während das bekannte Riedersche Aufnahmestativ, Fig. 660, das wohl die erste Vorrichtung dieser Art

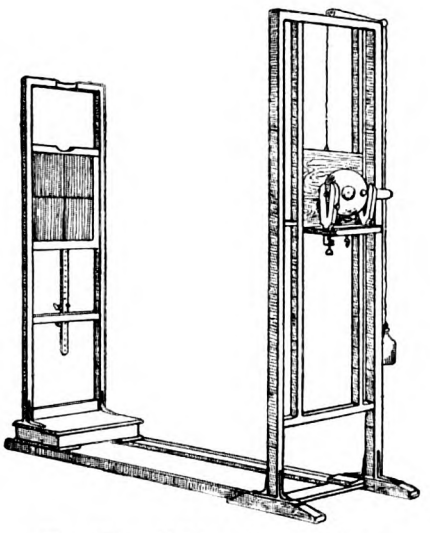


Fig. 659. Köhlersches Fernstativ.

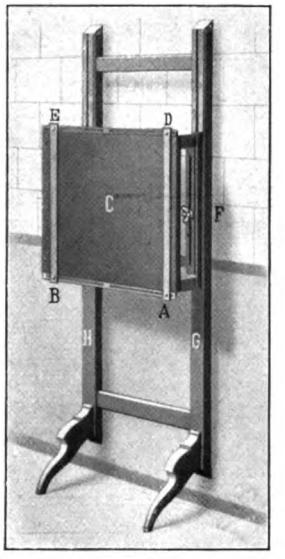


Fig. 660. Riedersches Aufnahmestativ.

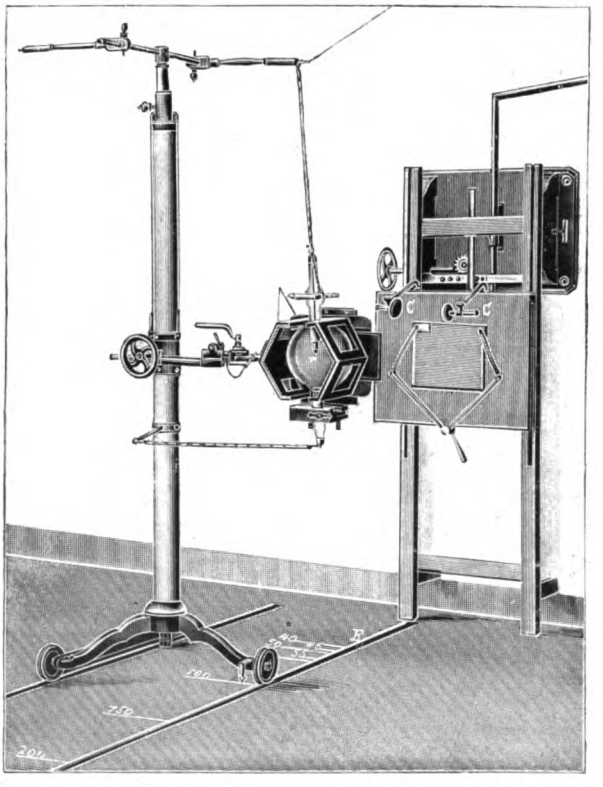


Fig. 661. Kästlesches Stativ für Nah- und Fernaufnahmen.

gewesen sein dürfte, nur zu Aufnahmen (im Stehen oder Sitzen) dient. Letztgenanntes Stativ wurde von Kästle — in bezug auf besonders bequeme Handhabung — modifiziert, Fig. 661.

G. **Der Lagerungstisch.**

Die Tragfläche besteht meistens aus Segeltuch oder dünnem, für Röntgenstrahlen durchlässigem Holz, um den auf dem Tisch liegenden

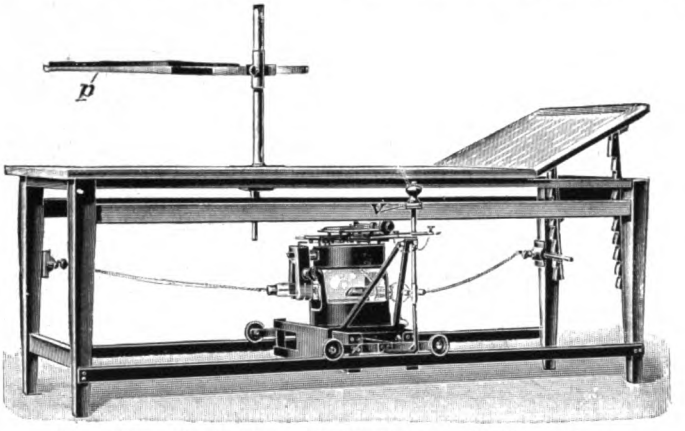


Fig. 662. Trochoskop mit Kästleschem Schirmhalter.

Patienten auch von unten nach oben durchleuchten, aufnehmen oder therapeutisch bestrahlen zu können. Zu diesem Zweck wird entweder eines der früher beschriebenen Röhrenstative verwendet, oder, was

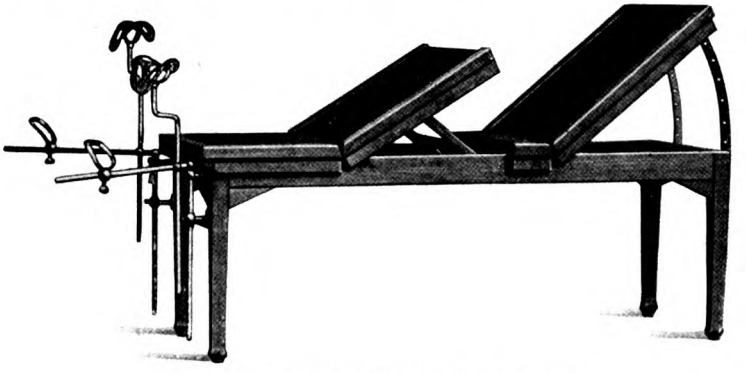


Fig. 663. Gaußscher Lagerungstisch.

wesentlich bequemer ist, es wird nach Holzknecht u. Robinsohn unter dem Tisch ein nach allen Richtungen verschiebbarer Röhrenhalter angeordnet (Trochoskop). Eine solche Vorrichtung mit Bleiglashaube für die Röntgenröhre und Doppel-Schlitzblende zeigt Fig. 662. Über

dem Tisch ist ein von Kästle angegebener Schirmhalter p zu sehen, der in einfacher Weise an beliebiger Stelle der Tischplatte festgeklemmt werden kann. Der Schirm läßt sich an diesem Halter in seiner Ebene beliebig verschieben und auch leicht in der Höhe verstellen.

Auch die Trochoskope sind in den verschiedensten mehr oder minder vollkommenen Formen ausgeführt worden.

Wird der Lagerungstisch auch für gynäkologische Bestrahlungen benützt, so können an seinem Fußende zwei verstellbare Beinstützen, sowie ein verschieden neigbares, gepolstertes Rückenbrett angebracht werden. Fig. 663 zeigt den — gynäkologischen Zwecken dienenden — Tisch nach Gauß (Reiniger) und Fig. 641, S. 915 den Siemens'schen Bestrahlungstisch, dessen Tischplatte sowohl in vertikaler als horizontaler Richtung leicht verstellbar ist.

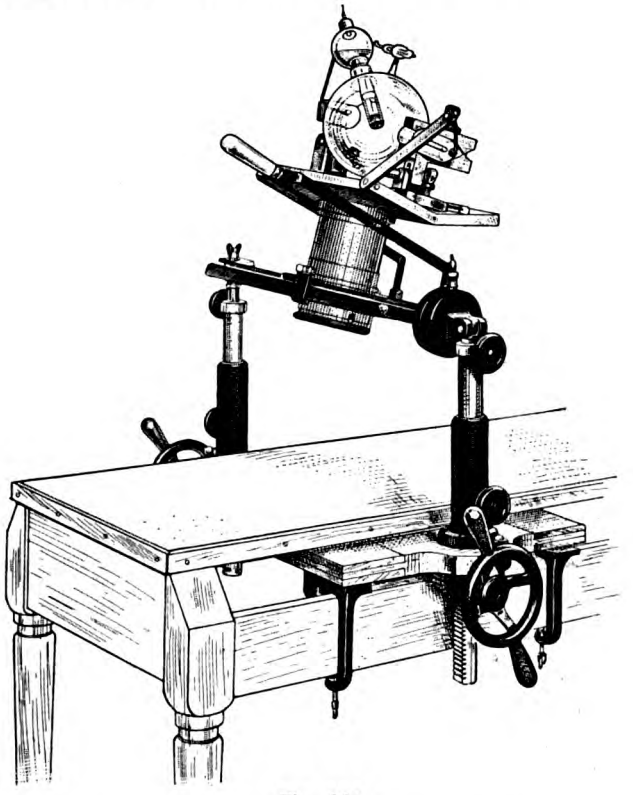


Fig. 664.
Albers-Schönbergsche Kompressionsblende.

H. **Die Fixierungs- und Kompressions-Vorrichtung**

wird über der Lagerungsfläche des Patiententisches angeordnet. Es war das Verdienst von Albers-Schönberg, diese Vorrichtung zuerst

angegeben und zu einem praktisch wertvollen Apparat ausgebildet zu haben. Fig. 664 zeigt eine Ausführungsform der Albers-Schönbergschen Kompressionsblende. Ein zwangläufig geführter Metallzylinder, dessen Einstellung und Fixierung in irgendeiner gewünschten Richtung mit Hilfe mehrerer Hebel und Schrauben ermöglicht ist, wird mittels eines Druckhebels auf den zu untersuchenden Körperteil aufgepreßt bzw. — bei Weichteilen — in diese hineingedrückt. Hierdurch wird dreierlei erreicht:

1. eine gute Fixierung des aufzunehmenden Körperteils,
2. eine Ausblendung des für die Aufnahme gerade notwendigen Strahlenbündels, also möglichste Vermeidung ungewünschter Sekundärstrahlen, und
3. eine Verringerung der Dicke der aufzunehmenden oder zu bestrahlenden Körperteile, wenn diese komprimierbar sind.

Auf den Zylinder wird, nachdem er in die gewünschte Stellung gebracht worden ist, ein zur Aufnahme der Röntgenröhre bestimmtes Brett (s. Fig. 664) aufgesetzt, welches mit Blei beschlagen ist und eine dem Zylinderdurchmesser entsprechende Bohrung besitzt, oder besser eine Röhrenschutzhaube aus Bleiglas oder Bleigummi. Die Bohrung des Röhrenbrettes bzw. die untere Öffnung der Schutzhaube kann mit Bleiblenden von verschiedenen Durchmessern bedeckt werden, oder auch mit Platten aus beliebigem Filtermaterial.

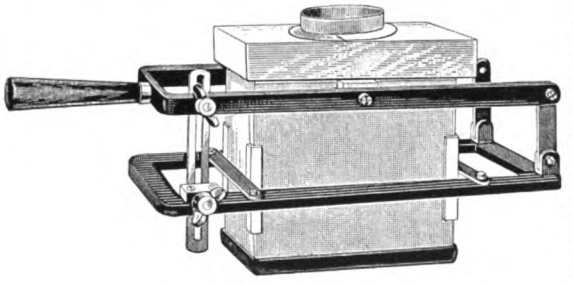


Fig. 665.
Kastenblende für die Albers-Schönbergsche Kompressionsvorrichtung.

Für spezielle Aufnahmen, z. B. solche der Lendenwirbelsäule, verwendete Albers-Schönberg statt der Zylinderblende eine Kastenblende (Fig. 665).

Fig. 666 zeigt eine von mir angegebene Kompressionsblende, die sich von der vorstehenden wesentlich unterscheidet. Auf den Säulen B und C ist je ein Arm M und N nach allen Richtungen beliebig verstellbar, was durch sogenannte Universalgelenke ermöglicht wird. Die beiden Arme sind durch einen Ring miteinander verbunden. Wenn die beiden Hebel D und E gelöst sind, kann der Ring mittels des Handgriffes L nach allen Richtungen frei bewegt werden. Durch Anziehen der beiden Hebel wird er in jeder Lage starr festgehalten. Auf den Ring wird nach erfolgter Kompression an Stelle des Hand-

griffes L die in einer Bleiglasschutzhaube befindliche Röhre aufgesetzt, während unterhalb des Ringes verschieden weite, zylinderförmige oder rechteckige Kompressionsansätze angebracht werden können, wie aus

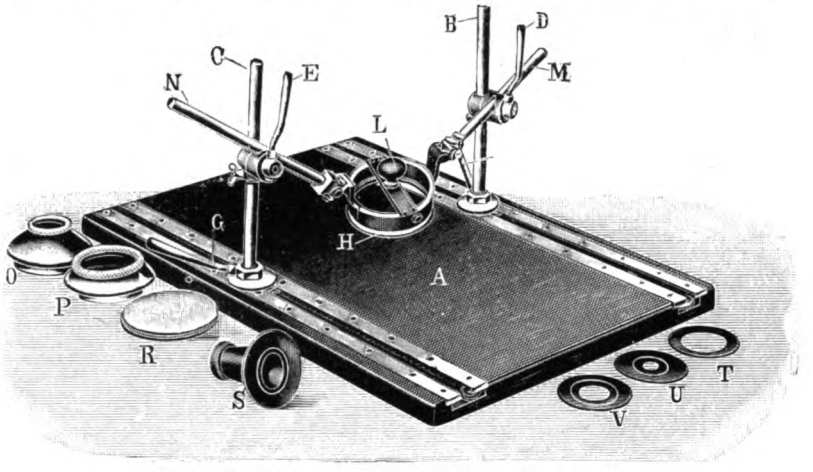


Fig. 666. Rosenthalsche Kompressionsblende.

Fig. 666 u. 667 ersichtlich ist. In letztgenannter Abbildung ist die Kombination eines Trochoskopes mit der Kompressionsblende dargestellt, welche längs des Tisches verschoben und an beliebiger Stelle fixiert werden kann. Wird das Trochoskop benützt, so schiebt man die Kompres-

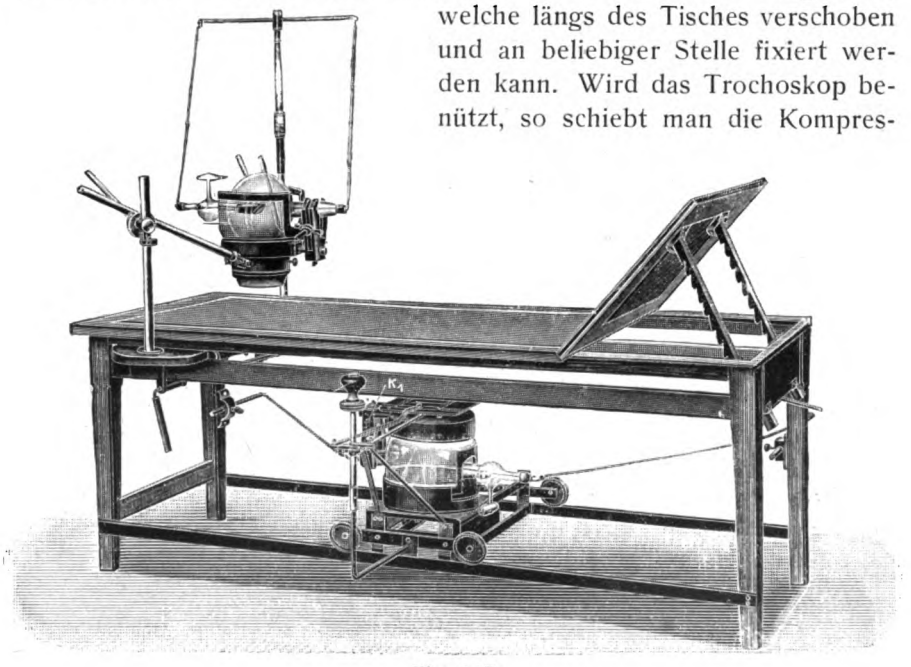


Fig. 667.
Aufnahme- und Durchleuchtungstisch mit Kompressionsblende und Trochoskop.

sionsblende an das Fußende des Tisches, so daß letzterer für die Durchleuchtung frei ist. Die Kompression erfolgt entweder direkt, indem der Handgriff L auf den Ring aufgesetzt wird (Fig. 666), oder mittels eines Hebels. Ersteres ist im allgemeinen ausreichend; letzteres kommt nur bei sehr starker Kompression in Frage. Der Hebel, dessen Drehpunkt an jeder der beiden Säulen angebracht werden kann, drückt gleichfalls auf das Zentrum des Ringes, sodaß der Druck nach jeder Richtung vorgenommen werden kann. Der untere Teil des Bleiglasgehäuses ist mit Bleigummi belegt und je nach der Größe des aufzunehmenden Körperteiles mit Blenden von verschiedenen Durchmessern versehen. Die Blende befindet sich also ganz dicht an der Röntgenröhre, was, wie oben auseinandergesetzt, für möglichste Ausschaltung der Glasstrahlung von Wichtigkeit ist.

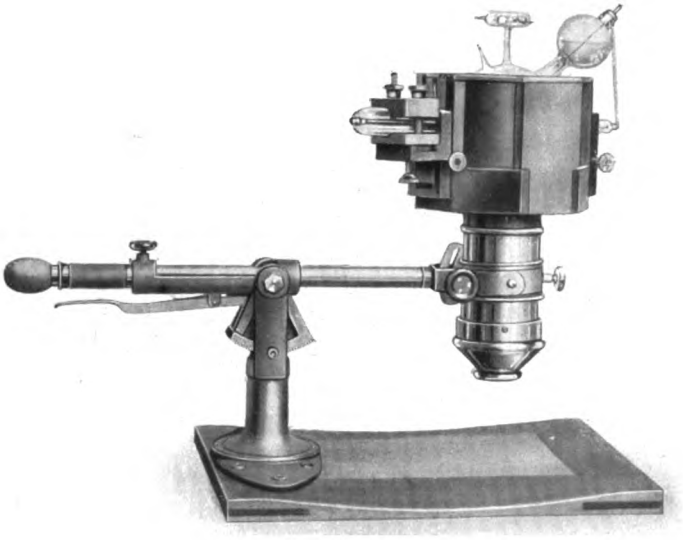


Fig. 668.
Einarmige Kompressionsblende.

Statt der zweiarmigen Kompressionsblende hat man auch einarmige hergestellt. Fig. 668 (Reiniger) zeigt eine solche.

Vielfach wird die Fixierung bezw. Kompression des aufzunehmenden Körpers, und Ausblendung des notwendigen Röntgenstrahlenbündels nicht in einem Apparat vereinigt, sondern es wird die Ausblendung von der Kompression und Fixierung getrennt und erstere an dem die Röhre enthaltenden Schutzkasten vorgenommen.

Die einfachste und in den meisten Fällen auch ausreichende Fixierungsart ist die mit Sandsäcken, welche an oder auf das aufzuneh-

mende Organ gelegt werden, sowie die mit gewöhnlichen Gazebinden, die den Körperteil samt seiner Unterlage umschlingen. Wesentlich verbessert wurde die Gazebinde durch Robinsohn als sog. Schlitzbinde (Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., VIII, S. 347, 1905). Wie aus Fig. 669 ersichtlich, besteht sie aus einer Binde, deren eines Ende durch einen etwa in der Mitte befindlichen Schlitz hindurchgezogen wird. Die so entstandene Schleife umgreift den zu fixierenden Körperteil und wenn an die beiden Enden der Binde entsprechend schwere Gewichte angehängt werden, wird eine sehr gute Fixierung erzielt.

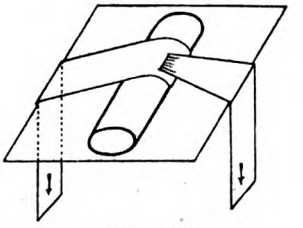


Fig. 669.
Schlitzbinde nach Robinsohn.

Wohl einer der Ersten, der systematisch und erfolgreich eine besonders gute Fixierung des aufzunehmenden Körperteiles ausführte, war

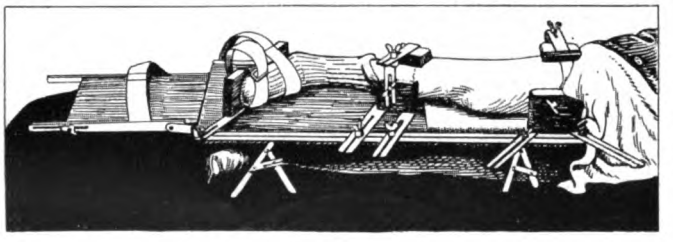


Fig. 670.
Strätersche Fixierungsvorrichtung.

Sträter (Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., VII, S. 318, 1904), welcher eine Reihe leicht einstellbarer Pelotten auf einem Lagerungsbrett anordnete (Fig. 670).

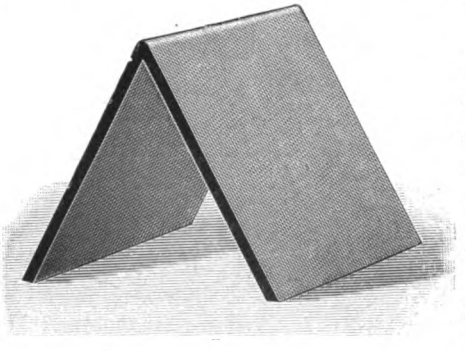


Fig. 671. Kniestütze.

Es sei noch die Kniestütze (Fig. 671) erwähnt, die besonders bei Aufnahmen von Nierensteinen, der Lendenwirbelsäule usw. verwendet wird, um bei hochgezogenen Beinen unter diese geschoben zu werden, sodaß die Wirbelsäule dicht an die photographische Platte zu liegen kommt; ferner die Grasheysche Kompressionsstütze (Fig. 672) und die Grasheysche

verstellbare Kopfstütze (Fig. 673), die sowohl am Aufnahmestativ als an der Kompressionsblende angebracht werden kann.

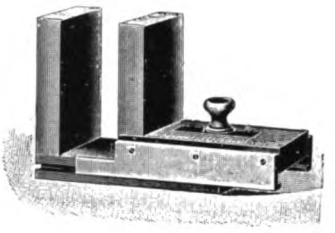


Fig. 672.
Kompressionsstütze nach Grashey.

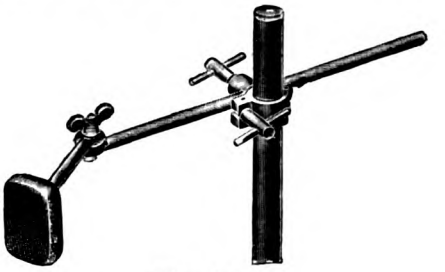


Fig. 673.
Kopfstütze nach Grashey.

Eine vielfach angewandte, einfache Fixierungs- und Kompressionsvorrichtung ist das von Hirschmann angegebene „Bandkompressorium", dessen Wirkungsweise ohne weiteres aus Fig. 674 (Reiniger)

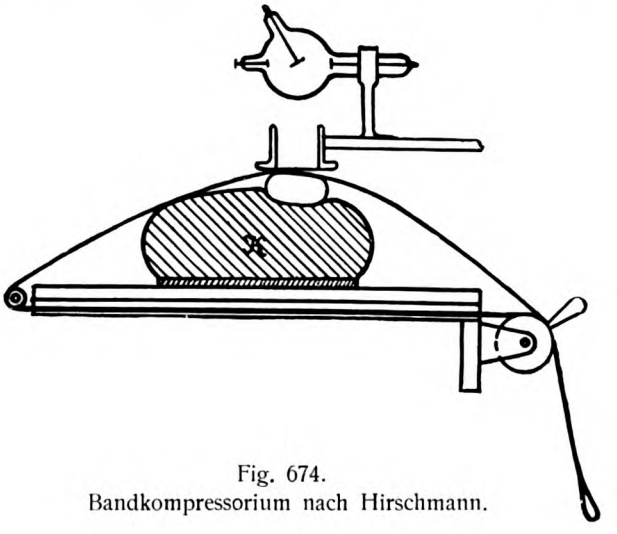


Fig. 674.
Bandkompressorium nach Hirschmann.

erkennbar ist. Einen dieser Vorrichtung anhaftenden Nachteil, nämlich die seitliche Verschiebbarkeit des Körpers, hat Kästle dadurch besei-

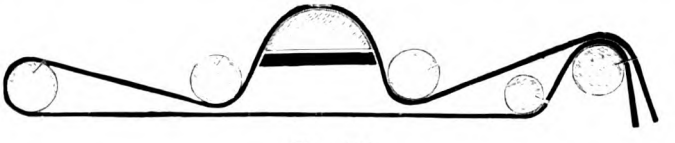


Fig. 675.
Schematische Darstellung des Bandkompressoriums nach Kästle.

tigt, daß er letzteren durch das Band umgreifen läßt. Dies geschieht mittels zweier, auf beiden Seiten des Körpers verstellbarer Walzen, unter welche das Band geleitet wird, wie aus Fig. 675 und 676 ersichtlich ist.

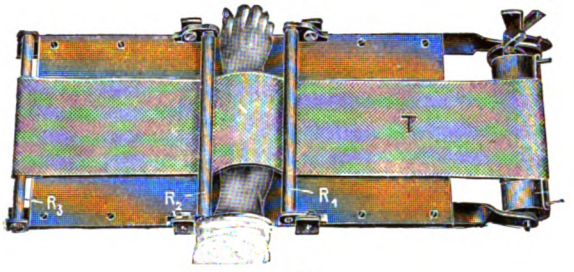


Fig. 676.
Bandkompressorium nach Kästle.

Wenn man das Bandkompressorium zusammen mit dem von Sträter zuerst angegebenen Luffaballen anwendet, kann man mit dieser einfachen Vorrichtung eine sehr wirksame Kompression der Weichteile erzielen. Statt Luffa kann auch dicht zusammengefaltete Watte verwendet werden, die man, ebenso wie erstere, zweckmäßig in Hüllen aus dünnem Stoff einnäht. Es ist empfehlenswert, die Luffa- bzw. Watteballen vor der erstmaligen Benützung mit einer weichen Röntgenröhre zu durchleuchten, um sich zu überzeugen, daß keine schattengebenden Körper in ihnen enthalten sind.

Auch mit den einfachen Röhrenstativen kann man, wenigstens in manchen Fällen, eine Kompression ausüben, wenn man das Schutzgehäuse mit einem zylindrischen oder konischen Ansatz versieht. Die Fixierung des Körpers ist hierbei allerdings häufig eine ungenügende.

Zur günstigen Lagerung der Extremitäten, besonders des Fußes, werden sog. Winkelbretter benutzt; dies sind 2 unter einem rechten Winkel miteinander verbundene Brettchen.

J. Der Orthodiagraph

ist eine Vorrichtung, die von Moritz im Jahre 1900 angegeben wurde, und welche es ermöglicht, die wahre Größe von gewissen, im Innern des Körpers gelegenen Organen, insbesondere des Herzens, darzustellen. Da in Band I, S. 226ff. die Orthodiagraphie ausführlich behandelt worden ist (dort ist auch die Literatur über Orthodiagraphie zu finden), sollen hier nur die zwei meistverwendeten Orthodiagraphen (Fig. 677 und 678) abgebildet werden, der nach Angabe von Moritz durch die Polyphos-Gesellschaft ausgeführte Horizontal-Orthodiagraph und ein

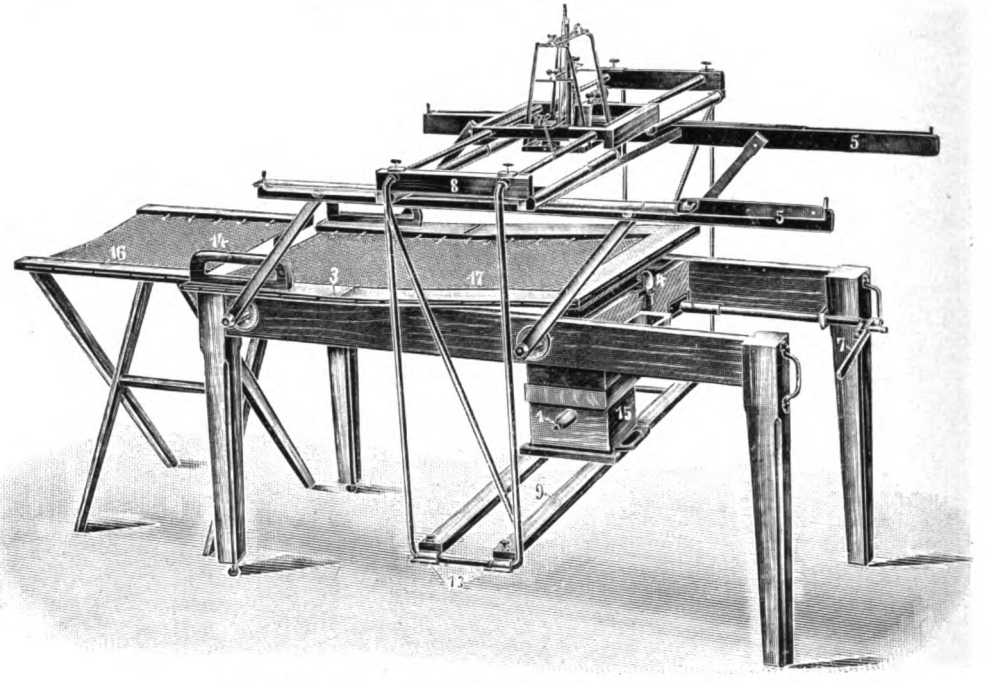


Fig. 677. Horizontal-Orthodiagraph nach Moritz.

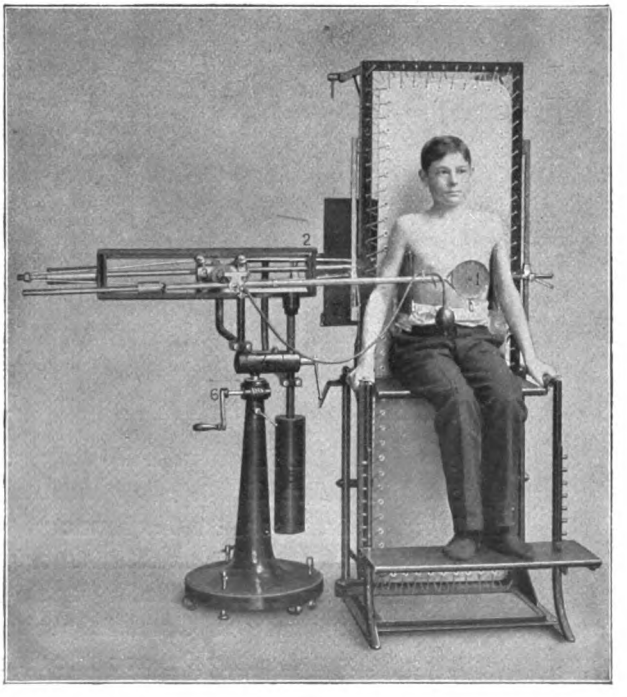


Fig. 678. Orthodiagraph nach Grunmach, Levy-Dorn und Grödel.

von Reiniger hergestellter Vertikal-Orthodiagraph (Grunmach, Levy-Dorn, Grödel).

Wenn auch infolge der für Herzuntersuchungen sich immer mehr einbürgernden Ferndurchleuchtung und Fernaufnahme (Tele-Röntgenographie) die Orthodiagraphie zurzeit nicht mehr so häufig benützt wird wie früher, so findet sie doch noch für bestimmte Zwecke Verwendung.

Der Wunsch, eine Anzahl von den in der Röntgenologie erforderlichen Hilfsvorrichtungen in einem Apparat, einem

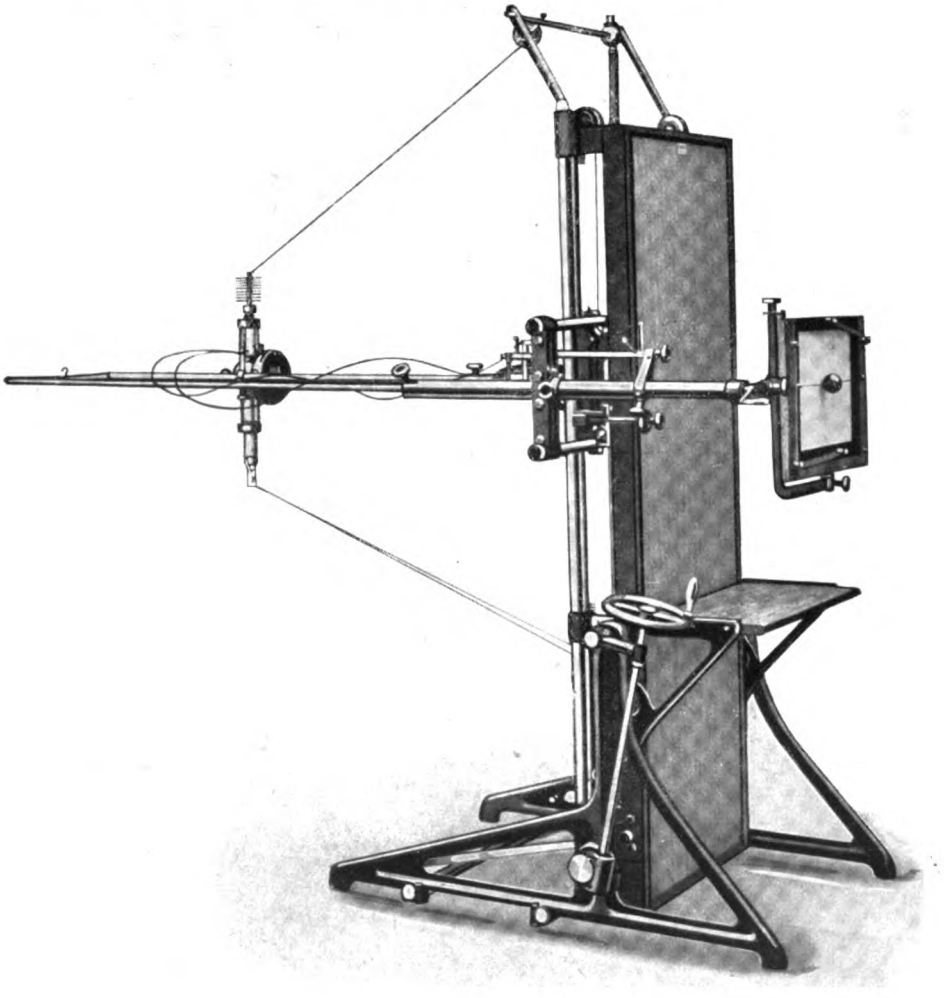


Fig. 679. Klinoskop (vertikal).

Universalstativ

zu vereinigen, ist schon alt. Einer der Ersten, der dies anregte, dürfte Faulhaber (Verh. d. Deutsch. Röntgenges. I, S. 163, 1905) gewesen

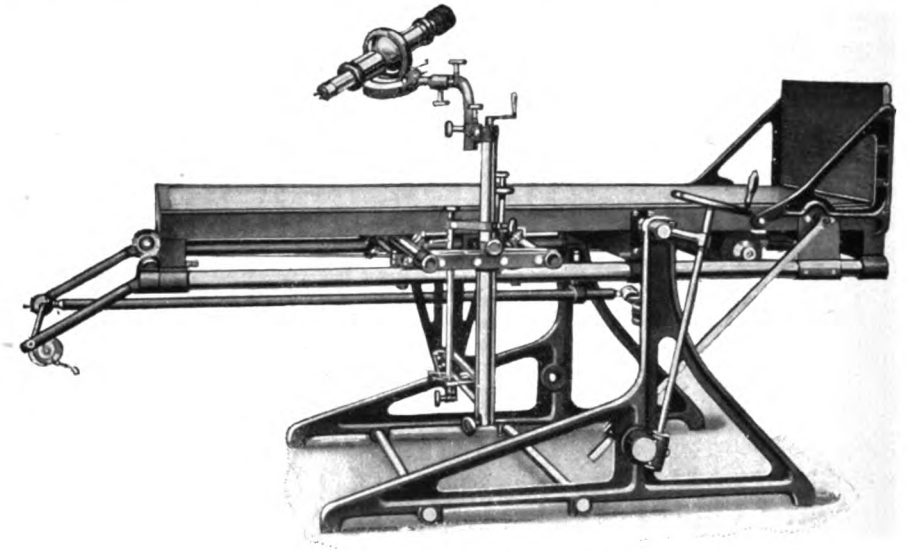


Fig. 680. Klinoskop (horizontal).

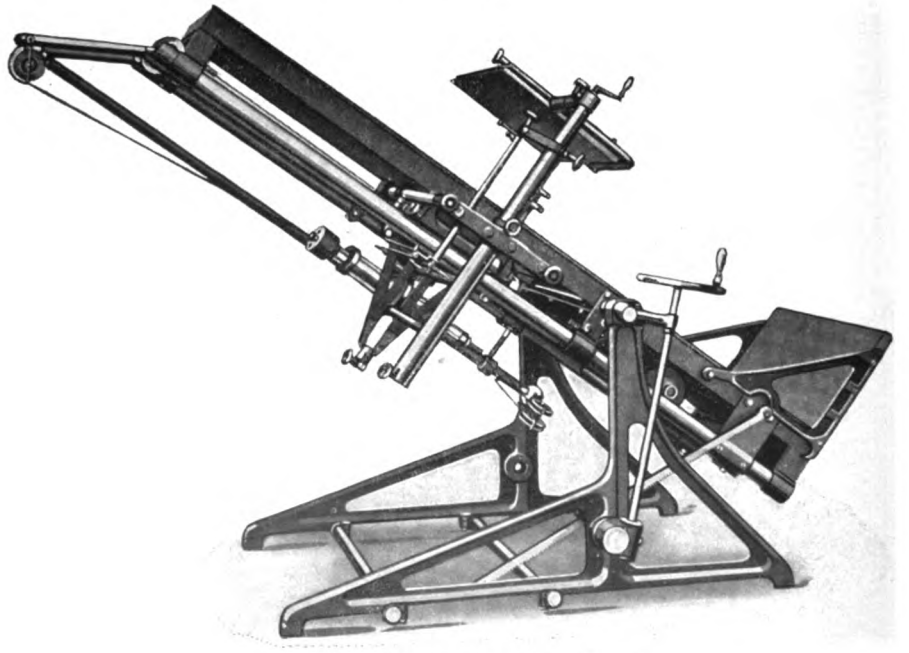


Fig. 681. Klinoskop (schräge Lage).

sein. Auf dem ersten deutschen Röntgenkongreß im Jahre 1905 berichtete er über einen derartigen Apparat (Polyphos), der als Röhrenstativ, Durchleuchtungs- und Aufnahmegestell, Lagerungstisch und Orthodiagraph diente. Später hat die gleiche Firma ein von Ising angegebenes Universalstativ ausgeführt, Veifa das sog. „Klinoskop“ (Fig. 679, 680 u. 681), Sanitas das „Multoskop“, Reiniger das „Universalorthoskop“, Siemens das „Universal-Stativ“ usw.

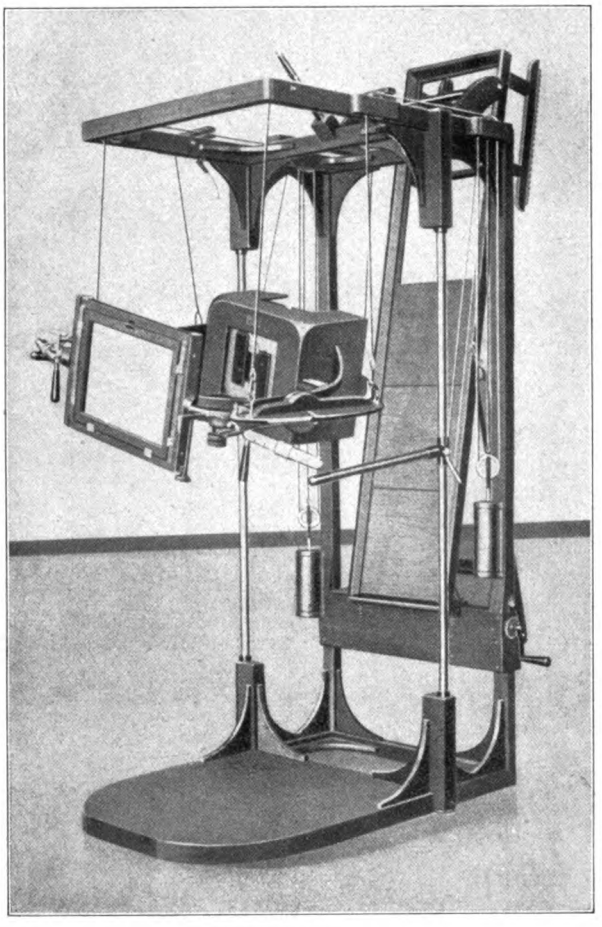


Fig. 682.
Universalblende von Grashey-Beyerlen (Vertikalstellung).

Über den Wert derartiger Universal-Apparate sind die Meinungen noch geteilt. Mit Hilfe von mehreren Apparaten, die einem oder wenigen Zwecken dienen, wird man meiner Ansicht nach im allgemeinen

schneller, bequemer und meistens auch exakter arbeiten können; überdies ist der Anschaffungspreis, wenn man sich einfacher Apparate bedient, nicht wesentlich höher. Da, wo wegen Platzmangel mehrere Einzelapparate nicht aufgestellt werden können und doch vielseitig gearbeitet werden soll, kommen diese Apparate wohl in Frage; aber

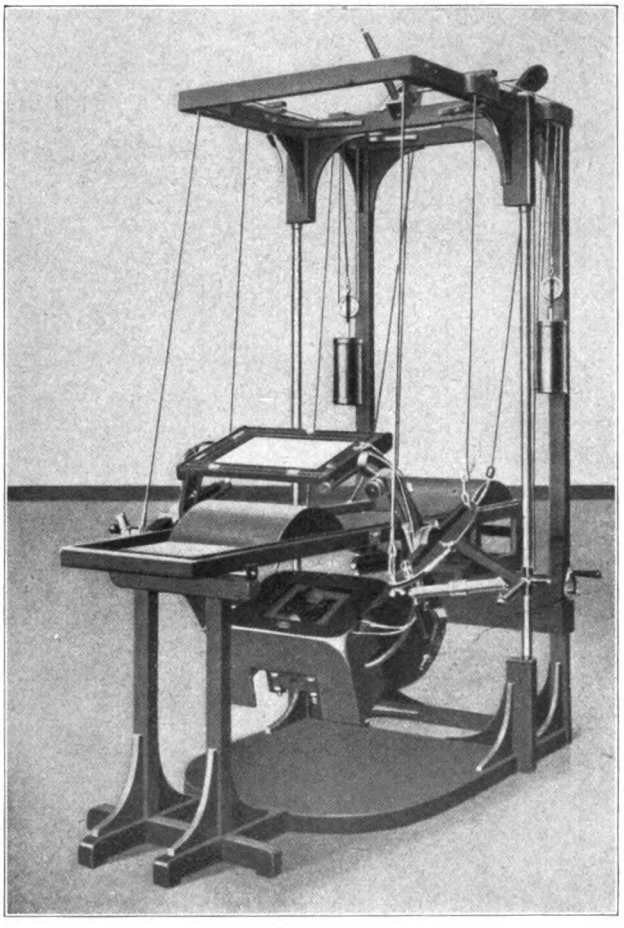


Fig. 683.
Universalblende von Grashey-Beyerlen (Horizontalstellung).

man sollte sich auch dann noch überlegen, ob man nicht besser tut, die Universalität etwas zu beschränken und die verschiedenen Vorrichtungen wenigstens auf zwei oder drei Apparate zu verteilen.

Hier sei auch die „Universal-Blende von Grashey-Beyerlen erwähnt, deren Konstruktion aus Fig. 682 u. 683 ersichtlich ist.

K. **Der Röntgenstereo-Aufnahmeapparat.**

Für kleinere Körperteile läßt sich ein solcher unschwer an den üblichen Stativen oder Kompressionsblenden anbringen. So zeigt Fig. 684 eine Röhrenverschiebungs-Vorrichtung, die meiner Kompressionsblende (Fig. 666) adaptiert werden kann. — Auch mit den meisten Stativen, z. B. dem einfachen Lambertzstativ (Fig. 642), läßt sich ohne weiteres die für Stereoaufnahmen notwendige Röhrenverschiebung (6,5 cm) vornehmen.

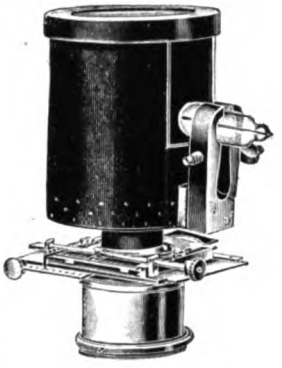


Fig. 684.
Stereo-Vorrichtung für die Rosenthalsche Kompressionsblende.

Zur Auswechslung der Platten nach der ersten Exposition hat Hildebrand eine Stereo-Schiebekassette angegeben, Fig. 685 (A. Horn), die derart mit Blei abgedeckt ist, daß stets nur die Hälfte der Platte belichtet wird. Die in Fig. 686 abgebildete Wechselkassette (Reiniger) ist für zwei getrennte Platten, in je einer Kassette, bestimmt.

Eine andere Stereokassette, die von P. Wertheim konstruiert ist und nur wenig Platz einnimmt, zeigt Fig. 687. Hier befindet sich

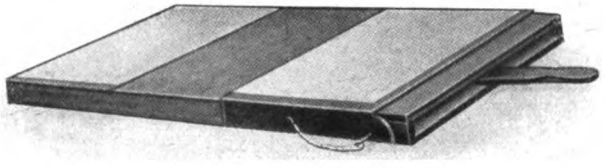


Fig. 685. Stereo-Kassette nach Hildebrand.

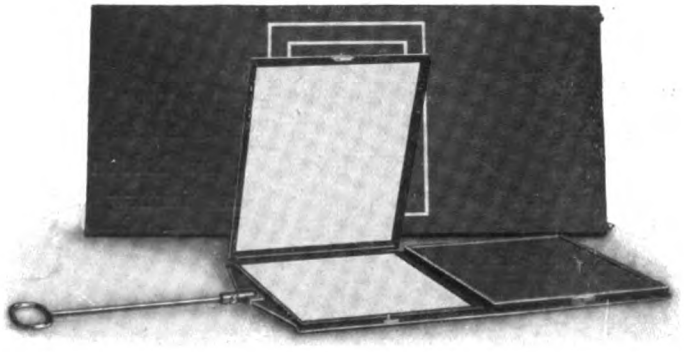


Fig. 686. Stereo-Kassette.

Fig. 687.
Stereo-Kassette nach Wertheim.

jede der beiden Platten in einem mit starker metallischer Rückwand versehenen Rahmen. Beide Rahmen liegen in einer Holzkassette übereinander. Nach der ersten Exposition wird der obere aus der Kassette herausgezogen, wodurch mittels einer in der Kassette angebrachten Feder der zweite Rahmen sofort nach oben, an die Stelle des ersten tritt.

Sollen die beiden Aufnahmen sehr schnell nacheinander gemacht werden (z. B. bei sich bewegenden Organen), so sind besondere Stereo-

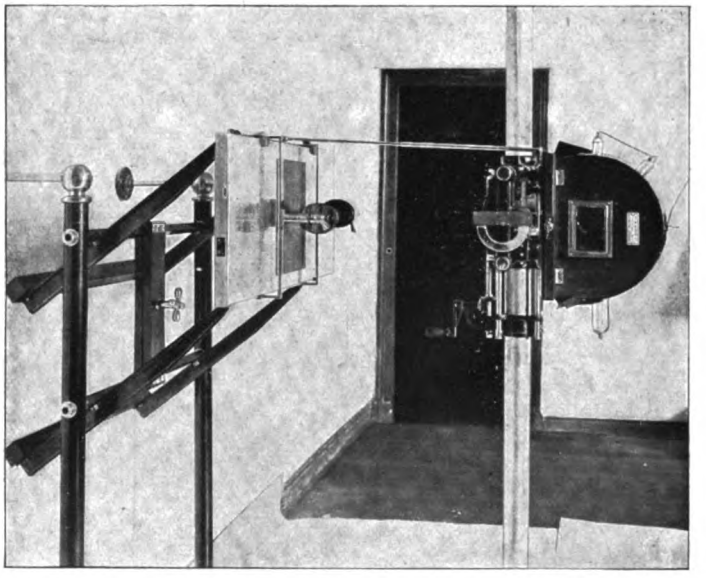


Fig. 688.
Stereo-Aufnahme-Apparat nach Hegener.

Aufnahmeapparate notwendig. Fig. 688 zeigt einen solchen von Hegener (Seifert), Fig. 689 einen von mir konstruierten (Polyphos). Bei dem Seifertschen Stereoapparat liegen die Platten mit ihren Kassetten nebeneinander; die Röhre wird zwischen den beiden Aufnahmen in horizontaler Richtung verschoben. Die Verschiebung der Platten, sowie die Einschaltung der Röhre vor und nach der Verschiebung erfolgt mittels automatisch wirkender Schalter.

Grödel hat 1908 auf dem Elektrologenkongreß in Amsterdam einen Stereoapparat demonstriert, bei welchem eine Bikathodenröhre mit einer Umschaltvorrichtung und einer Fallkassette, die zwei über-

einanderstehende Platten enthält, verwendet wurden. Nach der Exposition der unteren Platte, die sich vor einem Ausschnitt in einer Bleiwand befindet, fallen beide Platten nach unten, sodaß nunmehr die obere Platte vor den Ausschnitt kommt. Auf einer besonderen Schalttafel sind die automatischen Schaltvorrichtungen für den Fallapparat und die Röhrenumschaltung bzw. Röhrenverschiebung angeordnet (Fortsch. a. d. G. d. R. Str. XIII. S. 83, 1908).

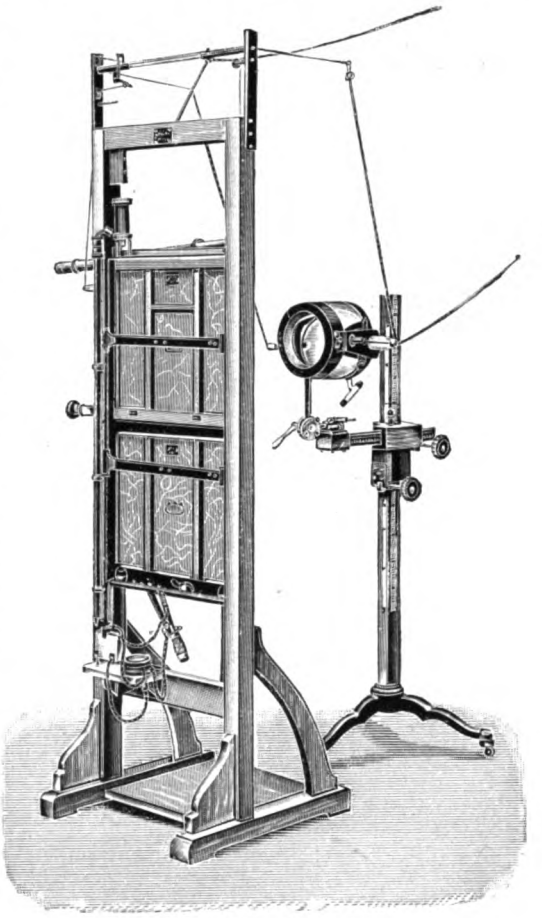


Fig. 689.
Stereo-Aufnahmeapparat nach Rosenthal.

Eine wesentlich einfachere Konstruktion, der erwähnte Polyphos-Stereoapparat, benützt auch eine Bikathodenröhre (S. 885), deren Fokusabstand 6,5 cm beträgt. Die Bikathodenröhre ist der verschiebbaren Röhre vorzuziehen, weil die bei rascher Verschiebung der Röhre kaum zu vermeidende Erschütterung die Bildqualität verschlechtert. Die Ein- und Ausschaltung der Röhre bzw. des Primärstromes geschieht mittels zweier Blitzpatronen, die wie S. 845 schon erwähnt, je nach dem aufzunehmenden Organ mit stärkerem oder dünnerem Kupferdraht versehen werden. Die beiden Kassetten stehen nicht über, sondern hintereinander; die zuerst belichtete fällt — durch Federn gebremst, um größere Erschütterungen zu vermeiden — nach unten und die zweite tritt nach vorn an deren Stelle. In Fig. 688 ist der gesamte Stereoaufnahmeapparat einschließlich der Schaltvorrichtungen dargestellt, nachdem die erste Platte belichtet und herabgefallen, und die zweite Platte an die Stelle der ersten getreten ist. Die erste Belichtung, der Plattenwechsel, das Wechseln des Fokus und das Wiedereinschalten der Röhre für die zweite Plattenbelichtung erfolgt durch

den Apparat selbsttätig in äußerst einfacher Weise — man hat nur den Schalter des Röntgenapparates einzuschalten — und in außerordentlich kurzer Zeit (in insgesamt weniger als 1 Sekunde), sodaß z. B. auch scharfe Stereoaufnahmen des in Bewegung befindlichen Magens und Darms ausgeführt werden können. Der Apparat ist für alle Plattengrößen bis 40×50 cm verwendbar.

Schon im Jahre 1900 hat Boas (Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, Bd. 3, S. 165, 1900) einen Apparat hergestellt, der gestattet, stereoskopische Röntgenbilder auf dem Durchleuchtungsschirm zu erzeugen. Später haben die Veifa-Werke, wie Alwens (Verhandl. d. Deutsch. Röntgenges., Bd. 9, S. 24 u. 98, 1913) berichtet, sowie Stumpf (Fortschr. a. d. G. d. R. XXXI, Kongreßheft p. 92, 1923) u. A. ähnliche Verfahren ausgeführt. Da sich diese Vorrichtungen aber nicht in die Praxis eingeführt haben, soll hier nur auf die erwähnten Literaturstellen verwiesen werden.

Mit der röntgenstereoskopischen Messung haben sich Pulfrich, Lambertz, Drüner, Gillet, Eykman, Hasselwander, von Wieser, Trendelenburg, Beyerlen u. A. eingehend beschäftigt. Es

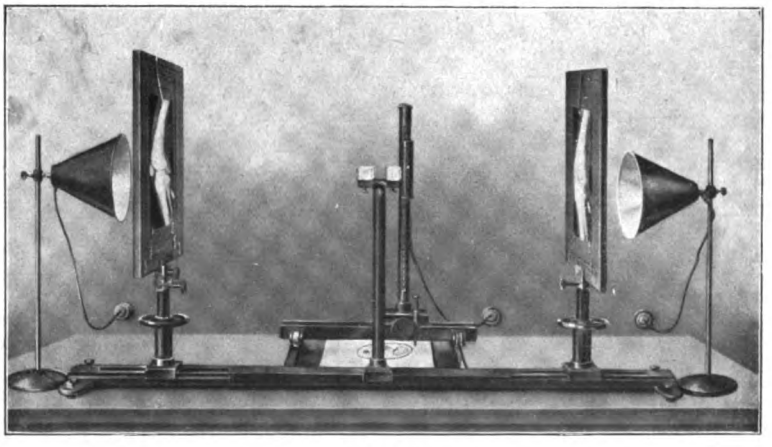


Fig. 690.
Stereoskiagraph nach Hasselwander.

kann hier jedoch auf dieses Spezialgebiet nicht näher eingegangen werden; es sollen nur 2 Apparate angeführt werden, die größere praktische Verwendung gefunden haben, der Stereoskiagraph nach Hasselwander (C. Stiefenhofer, München, Fig. 690) und der Röntgen-Stereo-Orthodiagraph nach Beyerlen (Fig. 691) (Röntgenstereo-

werke München). Bei ersterem sind, wie beim Pulfrich'schen Stereoplanigraphen (s. S. 948), die beiden Bilder links und rechts vom Beobachter angeordnet, bei letzterem vor diesem und übereinander. Es sei noch auf das Kapitel von Grashey, „Fremdkörperbestimmung", verwiesen (Bd. I, S. 84ff.), in welchem auch die stereometrischen Methoden beschrieben sind, sowie auf dasjenige von Hasselwander (Bd. I, S. 671ff.) „Die Bedeutung der Röntgenstrahlen für die Anatomie."

Fig. 691.
Röntgen-Stereo-Orthodiagraph nach Beyerlen.

Um durch die Stereoaufnahmen eine naturgetreue, der Wirklichkeit entsprechende Plastik zu erhalten, habe ich (Über stereoskopische Röntgenaufnahmen. Verh. d. Deutsch. Röntges., Bd. 8, S. 23, 1912) schon auf dem 8. Röntgenkongreß 1912 folgende Leitsätze aufgestellt:

„Am einfachsten dürfte diese naturgetreue Plastik zu erzielen sein, wenn man dafür sorgt,

1. daß bei der Aufnahme der Stereo-Röntgenogramme die der Röntgenröhre nächstgelegene Oberfläche des darzustellenden Körperteiles vom Fokus

der Röntgenröhre wenigstens so weit entfernt ist, als unsere Augen entfernt sein müßten, um diese Oberfläche noch deutlich zu sehen,

2. daß die Verschiebung des Fokus immer um die Augenachsen-Entfernung erfolgt und

3. daß bei der Besichtigung der Original-Stereoröntgenogramme diejenigen Körperpunkte, welche bei der Aufnahme dicht an der photographischen Platte lagen, ebensoweit vom Auge entfernt erscheinen, wie bei der Aufnahme die Platte vom Fokus der Röntgenröhre entfernt war.

Wenn wir diese drei Bedingungen erfüllen, sehen wir den Körper in natürlicher Größe und zwar so, als wenn wir vom Standpunkt des Fokus aus in den Körper hineinschauen würden.

Mir ist wohl bekannt, daß ich durch die Empfehlung der zweiten Bedingung, also der konstanten Verschiebung der Röntgenröhre gegen die in die Röntgenliteratur beinahe als Dogma übergegangenen Vorschriften von Marie und Ribaut (siehe Lehrbücher von Albers-Schönberg, Gocht, Dessauer etc.) verstoße; allein ich habe verschiedene Stereo-Röntgenogramme unter den oben erwähnten drei Bedingungen hergestellt und besichtigt, welche trotz bedeutender Abweichung von den Marie-Ribautschen Werten sehr gute Plastik ergaben, so z. B. 2 Stereobildpaare, von welchen das eine nach Marie und Ribaut eine zehnfach größere Fokusverschiebung hätte haben müssen als das andere; beide wurden mit der gleichen Fokusverschiebung von $6^1/_2$ cm aufgenommen und in beiden Fällen ist außerordentlich schöne naturgetreue Plastik erhalten worden.

Es ist selbstverständlich, daß die Aufnahmezeit und die Zeitdauer des Plattenwechsels von untergeordneter Bedeutung ist, wenn der aufzunehmende Körperteil sich nicht bewegt, daß dagegen bei sich bewegenden Körpern beide sehr kurz sein müssen.“

L. **Der Röntgenstereo-Besichtigungsapparat.**

Um die dritte der oben angeführten Bedingungen für naturgetreue Plastik erfüllen zu können, ließ ich den in Fig. 692 dargestellten Apparat herstellen, der auf dem Prinzip des Pulfrichschen Stereoplanigraphen beruht. Auf einer optischen Bank sind zwei einander gegenüberstehende und gegeneinander verstellbare Beleuchtungskästen mit drehbaren Einsätzen für Plattengrößen von 9×12 bis 40×50 angebracht. Genau in der Mitte zwischen den beiden Platten befindet sich ein Wheatstonesches Spiegelsteroskop, dessen Spiegelflächen durchsichtig sind, so daß ein hinter ihnen angebrachter Lichtpunkt durch die Spiegel hindurch gesehen werden kann. Dieser nach allen Richtungen bewegliche Lichtpunkt, den ich dadurch erhielt, daß ich eine kleine Glühlampe innerhalb eines mit einem Loch versehenen Gehäuses anordnete,

dient zur genauen Einstellung der beiden Platten. Den gleichen Lichtpunkt verwendete später Hasselwander bei dem in Fig. 690 abgebildeten Stereoskiagraph. Bei letzterem wird er zu Meßzwecken in 3 aufeinander senkrecht stehenden Richtungen verschoben, während ich — der einfacheren Konstruktion wegen — die Bewegung des Lichtpunktes einerseits durch Drehung einer Stange, längs welcher das Lampengehäuse mittels eines Schnurzuges verschoben werden kann, vorgenommen habe, und anderseits dadurch, daß diese Stange selbst senk-

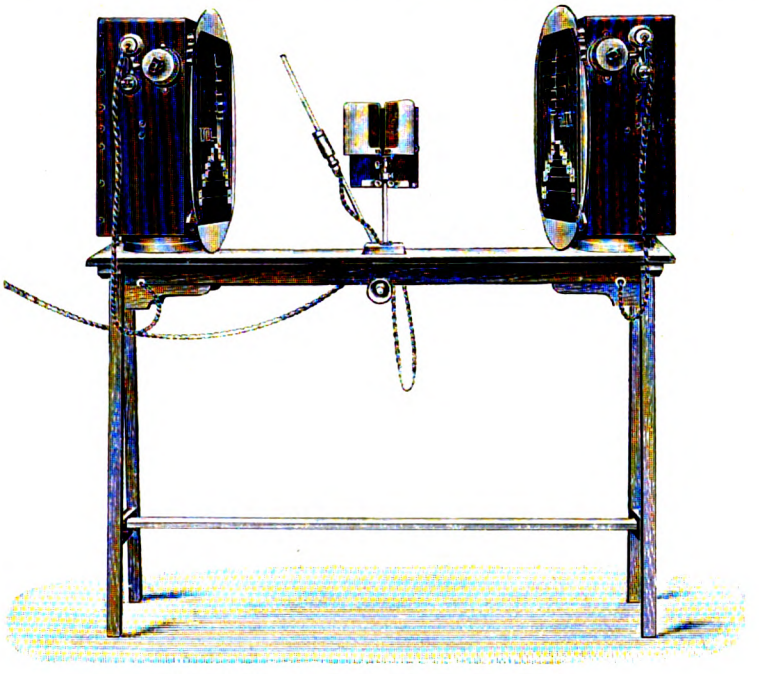


Fig. 692. Stereo-Besichtigungsapparat.

recht zur optischen Bank zu bewegen ist. Auf diese Weise ist es leicht möglich, die Entfernung des Lichtpunktes vom Auge ebenso groß zu machen wie bei der Aufnahme die Entfernung der Platte vom Röhrenfokus war. Zu diesem Zweck werden bei der Stereoaufnahme Bleimarken mitphotographiert, die dicht an der photographischen Platte angebracht sind. Wenn man die Bilder dieser Bleimarken mit dem Lichtpunkt zur Deckung bringt, was durch Verschiebung der einen Platte in zwei Richtungen bzw. ihre Drehung ermöglicht wird, so kann man die unter 3 genannte Bedingung unschwer erfüllen. Zur Vermeidung der Plattenverschiebung, wie sie am Pulfrichschen Stereoplanigraphen vorgesehen ist, habe ich den einen der beiden Spiegel drehbar gemacht, und zwar sowohl um eine Vertikal- als eine Horizontalachse, wodurch die für die

Besichtigung genügend genaue Einstellung außerordentlich leicht und schnell vorgenommen werden kann.

Die beiden Kästen der beschriebenen Stereobesichtigungsvorrichtung sind um eine Vertikalachse zu drehen, so daß sie auch parallel der Längsrichtung der optischen Bank gestellt werden können. In dieser Lage sind sie auch als doppelter

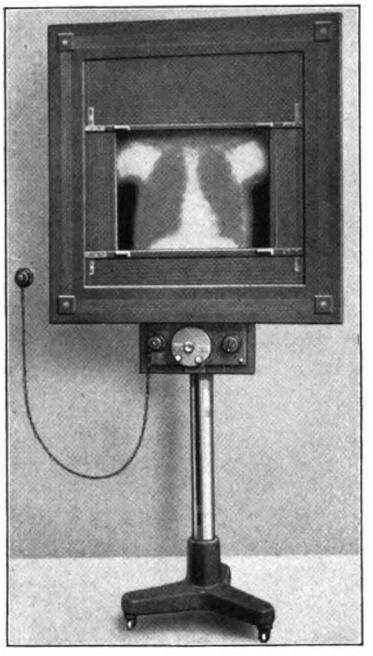


Fig. 693.
Plattenbesichtigungs-Apparat nach Gocht.

Plattenbetrachtungsapparat

zu verwenden.

Von den zahlreichen Konstruktionen der einfachen Betrachtungskästen sei nur einer der vollkommensten, der von Gocht angegebene, erwähnt. Dieser Kasten ist mit vier Jalousien versehen. Fig. 693 zeigt ihn in der von Reiniger hergestellten Form. Er gestattet nicht nur in einfacher Weise alle Plattengrößen zu betrachten, sondern auch von jeder Platte eine beliebig große und beliebig zu wählende Stelle auszublenden. Mittels eines Dunkelschalters kann auch die Helligkeit verschieden gewählt werden.

M. Der Röntgenkinematograph (Bioröntgenograph).

In Bd. I, S. 50 und Bd. II, S. 89 wurde bereits ausführlich über eine der wichtigsten Anwendungen der Röntgenkinematographie — diejenige des Magens — berichtet, die im Jahre 1909 von Rieder, Kästle und mir zuerst publiziert wurde (C. Kästle, H. Rieder und J. Rosenthal, Münchner med. Wochenschr. 1909, Nr. 6, Zeitschr. f. Röntgenkunde, Bd. XII, S. 1, 1910 und Röntgentaschenbuch, Bd. III, S. 46, 1911). Einige Wochen nach Erscheinen unserer Publikation hat Groedel seine erste Mitteilung über Röntgenkinematographie im Verein für innere Medizin, Berlin (Referat in der Deutschen med. Wochenschr. 1909, Nr. 15) gemacht. In der Deutschen medizinischen Wochenschrift 1909, Nr. 10 hat er dann seine Konstruktion eines Röntgen-Kinematographenapparates beschrieben, bei dem während der ganzen kinematographischen Aufnahme die Röntgenröhre ohne Unterbrechung eingeschaltet bleibt. Im Gegensatz hierzu ist bei dem von uns ver-

wendeten Apparat die Röhre nur in dem Augenblick eingeschaltet, in welchem die zu belichtende Platte vor dem Patienten ruhig steht. Es ist einleuchtend, daß infolgedessen die Röntgenröhre unter sonst gleichen Verhältnissen mit ganz bedeutend größeren Stromstärken betrieben werden kann, ohne Schaden zu leiden, was für größtmögliche Schnelligkeit der Aufnahmen natürlich von größter Wichtigkeit ist. Die ununterbrochene Einschaltung der Röntgenröhre ist später auch von Groedel verlassen worden.

Die Röntgen-Kinematographenapparate (Polyphos, Reiniger, Veifa usw.) wurden seit jener Zeit, insbesondere in bezug auf Plattengröße und Geschwindigkeit des Plattenwechsels, vervollkommnet. Die äußere Ansicht des von Polyphos hergestellten Röntgen-Kinematographen zeigt Fig. 694, während Fig. 695 den Veifaschen Apparat (Verh. d. Deutsch. Röntgen-Ges., Bd. 8, S. 60, 1912) darstellt. Die bisher erwähnten Röntgen-Kinematographen beruhen auf dem Fallkassetten-Prinzip, das ursprünglich auch in der Lichtkinematographie angewandt wurde. Wie bei letzterer hat man auch versucht, Röntgen-kinematographische Aufnahmen mit Filmbändern herzustellen. Dieses Verfahren hat jedoch bis jetzt keine größere Verwendung gefunden (s. auch S. 952), ebensowenig wie dasjenige der kinematographischen Aufnahme des Leuchtschirmbildes (Biesalski und Kohler, Verh. d. Deutsch. Röntgen-Ges., Bd. 5, 1909, S. 145), weshalb nicht näher hierauf eingegangen werden soll.

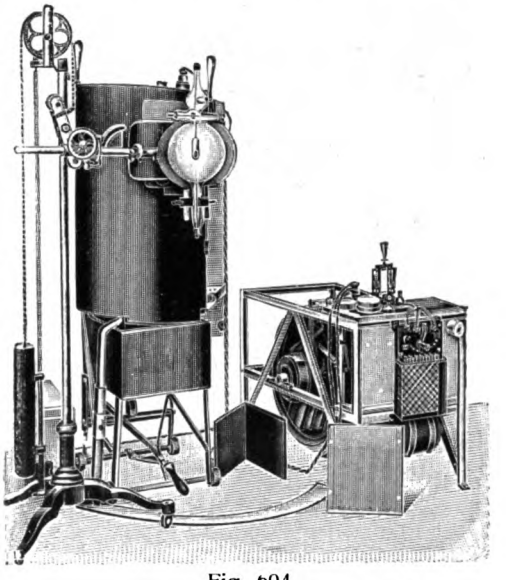


Fig. 694.
Röntgen-Kinematographischer Aufnahmeapparat (Bioröntgenograph).

Es ist von einigen Röntgenologen behauptet worden, daß die von Rieder, Kästle und mir geschaffene Röntgenkinematographie (Bioröntgenographie) des Magens, des Zwerchfells usw. diesen Namen nicht verdiene, weil die Zahl der Aufnahmen pro Zeiteinheit nicht groß genug sei, daß man vielmehr nur von Serienaufnahmen sprechen könne. Dies ist nicht zutreffend. Wie Kästle (Fortschr. XXXI, Kongreßheft 1923, S. 43) auf dem Röntgenkongreß 1923 in

München richtig bemerkte, kommt es jeweils nicht auf die absolute Zahl der Aufnahmen pro Zeiteinheit an, sondern nur auf die relative, die natürlich von der Dauer des betreffenden Bewegungsvorganges abhängt. Diese relative Zahl ist bei dem Bewegungsablauf des Magens, des Zwerchfells und verschiedener anderer Organe unschwer genügend groß zu erreichen, und wurde schon bei unseren ersten Versuchen von uns auch groß genug erreicht, um kinematographische Wirkung zu ermöglichen. Die Kinematographie des Herzens allerdings,

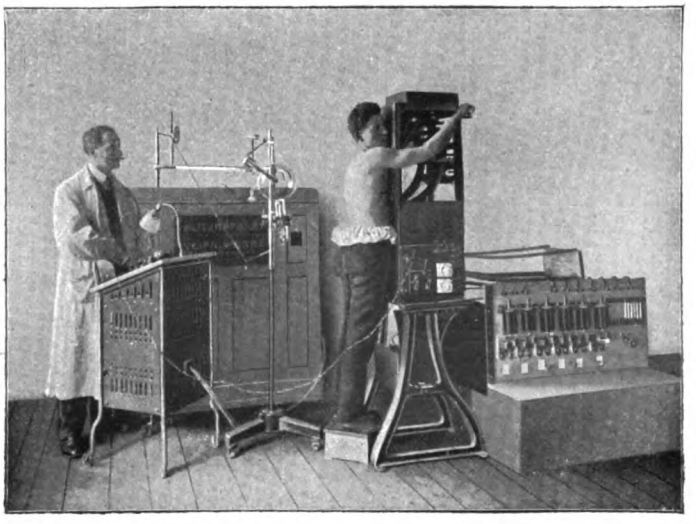


Fig. 695. Plattenwechselmaschine nach Dessauer.

dessen Bewegungsablauf weniger als 1 Sekunde dauert, erfordert eine so große Zahl von Aufnahmen pro Sekunde, daß die durch die Erschütterungen des Aufnahmeapparates verursachten Fehler und Unschärfen die erhaltenen Resultate sehr ungünstig beeinflussen. Dies bestätigte auch eine Vorführung eines Herzkinematogramms durch Grödel gelegentlich des Röntgenkongresses 1923 in München (s. Fortschr. XXXI, Kongreßheft 1923, S. 42). Diese Aufnahme erfolgte nicht mittels Fallkassetten, sondern unter Verwendung eines langen Filmbandes.

Als Ersatz der Röntgen-kinematographischen Aufnahmen wurden von Levy-Dorn und Silberberg (Berl. klin. Wochenschr. 1912, Nr. 2 u. Nr. 28) die sogenannten „Polygramme" empfohlen, die dadurch erhalten werden, daß das in Bewegung befindliche Organ in verschiedenen Phasen auf der gleichen Platte aufgenommen wird, ohne daß man letztere bewegt. Man erhält also übereinandergelagerte Röntgenogramme, wie solche auch schon im Jahre 1910 von Bachem und

Günther (Zeitschr. f. Röntgenkunde 1910, S. 375) publiziert wurden. Die Polygramme dürften wohl nur in ganz speziellen Fällen brauchbare Resultate liefern.

Wesentlich günstiger ist das von Kästle (Münchner med. Wochenschr. 1913, S. 346) angegebene Verfahren der „Vereinfachten

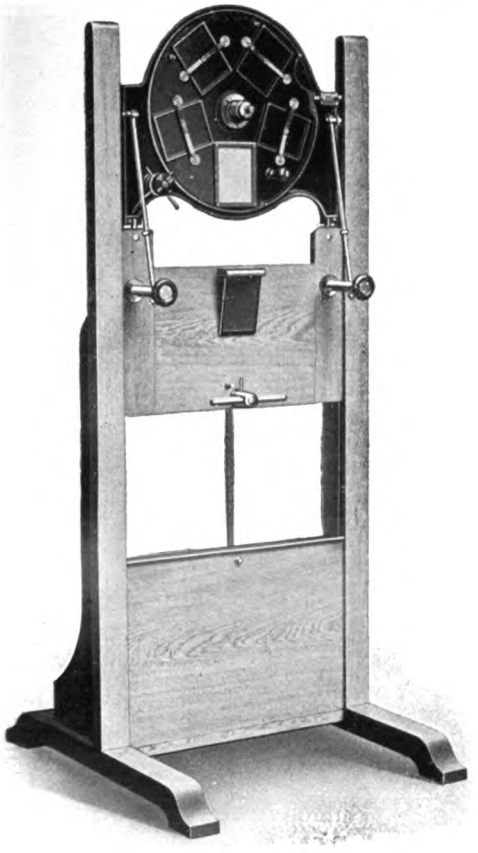


Fig. 696.

Fig. 697.

Serienaufnahme-Gerät.

Magen-Bioröntgenographie“, bei welchem die verschiedenen Phasen des bewegten Organs auf verschiedenen Stellen einer großen photographischen Platte (40×50) dargestellt werden. Die photographische Platte wird nach jeder Aufnahme ruckartig verschoben, während eine vor der Platte befindliche Bleiblechblende verhindert, daß die Strahlen die Platte an ungewünschter Stelle treffen. Mit derartigen Apparaten lassen sich in relativ einfacher Weise „Serienaufnahmen“ verschiedener Organe mit kürzeren oder längeren Zwischenpausen machen.

In Fig. 696 u. 697 ist ein Serienaufnahmegerät (Reiniger) dargestellt, welches besonders für Magen- und Darm-Durchleuchtung und -Aufnahmen bestimmt ist. An einer Holzstützwand ist eine in der Höhe verstellbare und nach vorn und hinten neigbare Metallplatte angeordnet. Um einen Zapfen, der in der Mitte der letzteren angebracht ist, läßt sich eine abnehmbare Aluminium-Scheibe drehen, welche 5 Ausschnitte 9×12 cm besitzt. Einer derselben ist für den Durchleuchtungsschirm, die 4 übrigen für Plattenkassetten bestimmt. Nach der Durchleuchtung wird die Scheibe mittels eines — durch Leuchtmarken auch im Dunkeln, leicht erkennbaren — Handgriffes so lange gedreht, bis die erste Platte genau an die Stelle des Schirmes kommt, was durch eine einfache Sperrvorrichtung ermöglicht wird. Nach Belichtung der ersten Platte wird die Scheibe weiter gedreht usw. — Um auch bei Durchleuchtung in gebeugter Stellung des Patienten das Schirmbild bequem beobachten zu können (Fig. 697), ist unterhalb des Schirmes ein kleiner umklappbarer Spiegel angebracht, und um während der Durchleuchtung den Patienten abtasten zu können, unterhalb der Metallplatte eine genügend große Öffnung, durch welche der Arm des Untersuchenden durchgeführt werden kann.

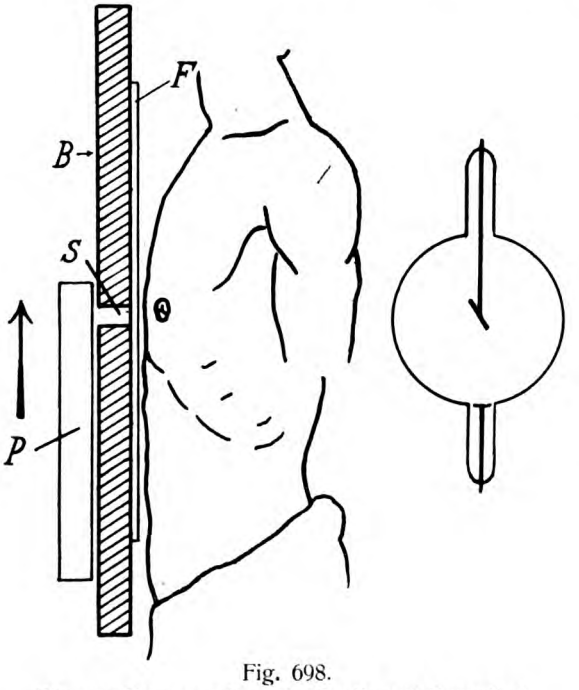


Fig. 698.
Röntgen-Kymograph nach Goett und Rosenthal.

N. **Der Röntgen-Kymograph**

dient zur Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Bewegung von einzelnen Punkten eines inneren Organs. Sein Prinzip wurde bereits im Jahre 1911 von Sabat in der Zeitschrift „Lwowski Tygodnik Lekarski (1911, Nr. 28)“ in polnischer Sprache veröffentlicht, ohne daß jedoch irgendwelche Resultate oder eine Kurve angegeben worden wären. Unabhängig von dieser uns unbekannt gewesenen Arbeit, wurde im Jahre 1912 dieses Verfahren von Goett und mir neuerdings ausgearbeitet. Wir

nannten es „Kymographie“. Der von uns konstruierte „Kymograph“ (s. Th. Goett und J. Rosenthal, „Über ein Verfahren zur Darstellung der Herzbewegung mittels Röntgenstrahlen“ (Röntgen-Kymographie), Münch. med. Wochenschr. 1912, Nr. 38, und „Über Röntgen-Kymographie“, Röntgen-Taschenbuch, Bd. V, S. 51, 1913, ferner Th. Goett, „Studien über die Pulsation des Herzens mit Hilfe

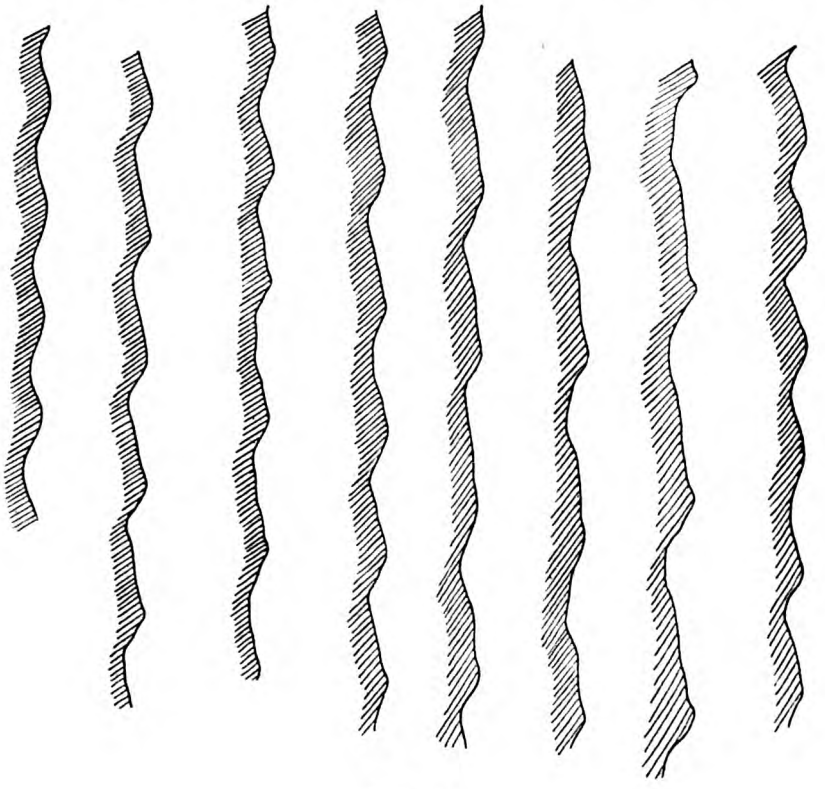


Fig. 699.
Verschiedene Kymogramme des linken Ventrikels von Erwachsenen und von Kindern. (Aus Röntgentaschenbuch, Bd. V, 1913.)

der Röntgenstrahlen“. Habilitationsschrift, München, Müller und Steinicke, 1913) ist schematisch in Fig. 698 dargestellt. Er besteht im Prinzip aus einer vertikalen Bleiwand „B“, die einen schmalen horizontalen Schlitz „S“ besitzt. Dieser Schlitz ist in der Höhe beliebig verstellbar. Vor der Bleiwand „B“ bewegt sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit die photographische Platte „P“ senkrecht zum Schlitz, während auf der Rückseite von „B“ der zu Untersuchende sich befindet. Die hinter diesem angeordnete Röntgenröhre entwirft nun durch den Schlitz auf die photographische Platte bestimmte Kurven, von welchen Fig. 699

eine größere Anzahl zeigt. Näheres über diese Kurven ist aus den angegebenen Arbeiten zu ersehen. Außerdem sei noch auf eine Arbeit von Becker („Deutsches Archiv für klinische Medizin", Bd. 113, S. 216, 1914) „Die Analyse des Elektrokardiogramms mittels der Röntgenkymographie" hingewiesen, in welcher über die gleichzeitige Aufnahme des Elektrokardiogramms und des Röntgenkymogramms berichtet wird.

O. Das Röhrengestell.

Eine sehr einfache Ausführung in Form einer Wandkonsole ist in Fig. 700 dargestellt. Fig. 701 zeigt einen von mir angegebenen Röhren-

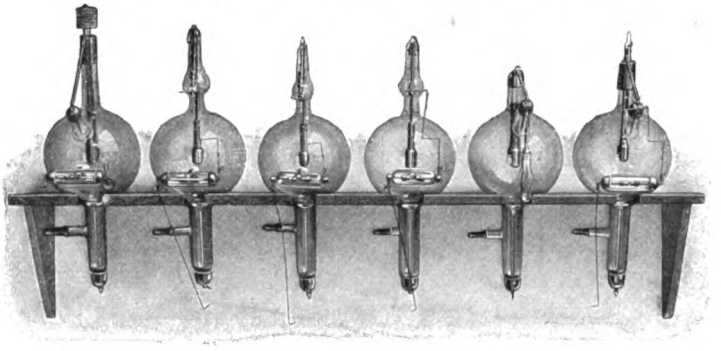


Fig. 700. Wandkonsole für Röhren.

schrank, der mit zwei Schiebetüren versehen ist. Die Röhren liegen auf Segeltuchunterlagen, die zwischen Vertikalwänden des Gestells lose hängend angebracht sind. Hierdurch wird erreicht, daß falls eine Röhre aus irgendwelchen Gründen implodiert, die anderen dadurch nicht auch beschädigt werden können. Da sich die Röhren auf nachgiebiger, weicher Unterlage befinden, sind sie beim Einlegen und Herausnehmen weniger gefährdet und da sie vollständig eingeschlossen sind, auch nicht beim Reinigen des Röntgenzimmers.

Fig. 701.
Röhren-Aufbewahrungskasten.

P. Der Aufbewahrungsschrank

dient zur Aufbewahrung für die zu den bereits besprochenen Appa-

raten gehörenden Nebenteile, wie Blendenansätze, Filter, Luffaballen etc. sowie für eine Reihe von Meß- und Hilfsgeräten, Schutzvorrichtungen und Chemikalien, die im Nachfolgenden noch kurz behandelt werden sollen.

Zur Verbindung des Röntgenapparates mit der Röntgenröhre dienen die

Hochspannungsleitungen.

Die einfachste Form einer solchen bildet das „Spiralkabel", eine aus dünnem, vernickeltem Stahldraht hergestellte lange Spirale, die an den Enden je einen Metallhaken besitzt. Die Spiralkabel lassen sich auch verwenden, wenn sie nicht direkt vom Röntgenapparat zur Röhre gezogen werden können; man bedient sich dann zweckmäßig verstellbarer Kabelhalter, wie solche aus den Fig. 661 und 667 ersichtlich sind.

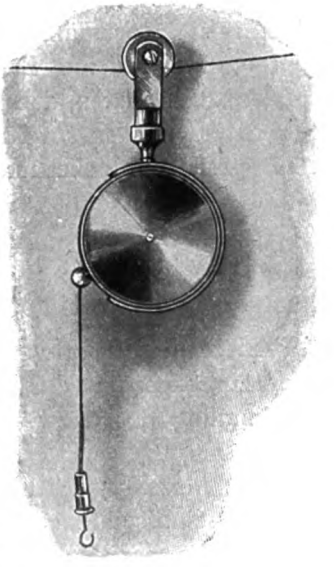


Fig. 702.
Rollkabel.

Eine andere Form des Hochspannungskabels, die „Rollkabel" Fig. 702 (Koch und Sterzel), sind zuerst von Beez eingeführt worden und bestehen aus einer Metallkapsel, in welcher ein Metallband oder eine Metallschnur durch eine Spiralfeder aufgerollt ist. Das Ende der Schnur wird mittels einer Öse mit der Röhre verbunden. Die Metallkapseln lassen sich entweder an den Induktorklemmen anbringen, oder auf Leitungsdrähten, welche im Röntgenraum, etwa 1 m von der Decke entfernt, von einer Wand zur anderen gespannt sind, hin und her bewegen. Bei dieser Art von Hochspannungsleitung muß besonders beachtet werden, daß die Leitungsdrähte durch lange Isolierstücke sehr gut von der Wand isoliert und möglichst weit voneinander entfernt sind, um das Auftreten elektrischer Büschelentladungen zwischen den beiden Drähten zu vermeiden.

Fig. 703.
Hochspannungs-Umschalter nach Albers-Schönberg.

Albers-Schönberg hat einen Hochspannungsumschalter, Fig. 703 (Seifert) angegeben, der dazu dient, den Strom abwechselnd nach mehreren Verbrauchsstellen

zu führen. Dieser Umschalter wird an der Decke des Zimmers angebracht, und der Schaltungsmechanismus wird durch seitwärts an die Wand geführte Schnüre betätigt. So bequem diese Anordnung in manchen Fällen auch ist, hat sie, wenigstens wenn sehr harte Röntgen-Röhren verwendet werden, den Nachteil, daß infolge der verlängerten Hochspannungsleitung die unerwünschte elektrische Ausstrahlung vergrößert wird.

Bei Verwendung sehr harter Röhren für therapeutische Zwecke benützt man zweckmäßig Hochspannungsleitungen aus blanken Metallrohren, damit keine Büschelentladungen auftreten. Hierbei ist besonders zu beachten, daß bei allen metallischen Hochspannungsleitungen Ecken und Kanten sorgfältig vermieden werden. Fig. 576, S. 860 zeigt eine derartige Hochspannungsleitung.

B. Meß-Instrumente.

Diese dienen entweder zur Messung der Röntgenstrahlung selbst, oder zur Messung der Schärfe des Röntgenbildes, oder endlich zur Bestimmung der Lage von Fremdkörpern.

Die Messung der Röntgenstrahlung hat eine doppelte Aufgabe zu erfüllen, einerseits eine Qualitäts-Messung, andererseits eine Intensitäts- bezw. Quantitäts-Messung; beide können sowohl direkt als indirekt erfolgen.

Da für die Dosimetrie ein eigenes Kapitel in Bd. III dieses Lehrbuches vorgesehen ist, sollen hier nur die zu den verschiedenen Messungen hauptsächlich verwendeten Instrumente kurz geschildert werden.

Zur Messung der

Qualität (Härte) der Röntgenstrahlen

dienen Vorrichtungen, über deren Prinzip bereits Bd. I, Seite 2—12 und 28—32 berichtet wurde.

a) Direkte Härtemesser:

Der Benoistsche Härtemesser

beruht, wie Bd. I, S. 29 u. 30 ausgeführt wurde, auf der Verschiedenheit der „selektiven Absorption" einerseits von Silber und andererseits von Aluminium.

Eine Aluminiumtreppe, deren einzelne Stufen 1 bis 12 mm dick sind, ist konzentrisch um eine Platte von 0,11 mm dickem Silber gelegt, und die Abstufung des Aluminiums durch Zahlen an der Peripherie gekennzeichnet. Letztere von Dessauer angegebene sehr praktische Anordnung ist in Fig. 704 (Veifa) dargestellt, während Fig. 705 (Polyphos) diesen Härtemesser mit Tubus und Schutzscheibe aus Blei zeigt. Innerhalb des Tubus befindet sich ein mit Bleiglas bedeckter Leuchtschirm, sodaß ein guter Schutz des Beobachters erzielt wird.

Fig. 704.
Benoistscher Härtemesser.

Fig. 705.
Benoistscher Härtemesser mit Leuchtschirm, Tubus und Bleischutzscheibe.

Der Härtemesser nach Wehnelt

Fig. 706 (Reiniger) und

der Benoist-Waltersche Härtemesser

beruhen auf dem gleichen Prinzip. Bei letzterem (Benoist-Walter) erfolgt die Abstufung des Aluminiums statt in arithmetischer in geometrischer Reihe, bei ersterem (Wehnelt) wird statt einer Aluminiumtreppe ein Aluminiumkeil verwendet, der nach einer logarithmischen Spirale geformt ist.

Fig. 706.
Wehneltscher Härtemesser.

Der Waltersche Härtemesser

Fig. 707 (Seifert) besteht aus acht verschieden dicken Platinfolien, welche hinter einem Durchleuchtungsschirmchen nebeneinander angebracht sind. Je härter die Strahlung, desto mehr Felder werden durchstrahlt, und die Zahl der noch Röntgenstrahlen durchlassenden

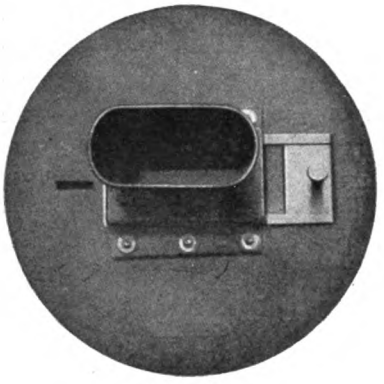


Fig. 707.
Walterscher Härtemesser.

— also leuchtenden — Felder gibt den Härtegrad an. Wie schon Bd. I, Seite 31 angeführt, ist diese Methode eine weit subjektivere als die Benoist'sche.

Der Halbwertschicht-Härtemesser nach Christen

Fig. 708 u. 709 (Reiniger) mißt die in Zentimetern ausgedrückte Dicke eines bestimmten Körpers (dest. Wasser), die notwendig ist, um die Hälfte der zu untersuchenden Strahlung zu absorbieren. Wenn diese Methode der Härtemessung auch den vorbeschriebenen gegenüber gewisse Vorteile hat, so ist doch die Bezeichnung Christens „absoluter Härtemesser" nicht gerechtfertigt.

Das für die Praxis bestimmte Instrument verwendet statt destillierten Wassers ein „Bakelit" genanntes, in der Technik benütztes

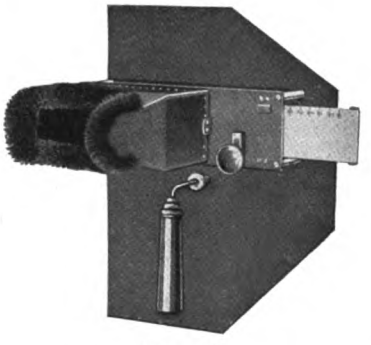


Fig. 708.
Christenscher Halbwertschicht-Härtemesser für Durchleuchtung.

Fig. 709.
Christenscher Halbwertschicht-Härtemesser für Photographie.

Isoliermaterial, das nach Angabe Christens die gleichen Absorptionsverhältnisse haben soll wie dest. Wasser. Bei dem in Fig. 708 dargestellten Härtemesser wird der Schatten eines Bakelitkeiles mit dem eines siebartig gelochten, strahlenundurchlässigen Bleches verglichen. Die Lochung des letzteren ist so vorgenommen, daß die Summe aller freien Flächen gleich der Hälfte der gesamten Fläche ist und das Blech ist so weit vom Leuchtschirm entfernt, daß die Bilder der einzelnen Löcher sich auf dem Schirm nicht abbilden, sondern ineinander übergehen, so daß der Leuchtschirm gleichmäßig belichtet erscheint. Es fällt jedoch nur dann die Hälfte der Strahlung durch das Blech, wenn die Strahlen genau senkrecht zu dessen Fläche gerichtet sind. — Bei dem in Fig. 709 dargestellten, nur für photographische Messungen

verwendbaren Instrument wird die Durchlässigkeit eines ringförmig angeordneten Bakelitkeiles mit derjenigen eines Luftraumes verglichen, in welchem mit Hilfe eines Uhrwerkes ein strahlenundurchlässiger Körper rotiert. Letzterer ist wieder derart gestaltet, daß er genau die Hälfte der Fläche bedeckt, so daß nur die Hälfte der Röntgenstrahlung die photographische Platte treffen kann.

Eine sehr geistvolle Konstruktion eines Härtemessers stellt

das Radio-Sklerometer von Villard

(Archives d'Electricité Médicale, Bd. 16, S. 236, 1908) dar. Bei diesem wird die zu messende Strahlung einerseits direkt verwendet und andererseits durch eine Metallplatte filtriert. Aus dem Verhältnis der Ionisation zweier gleichartiger Lufträume, von welchen der eine von der unfiltrierten, der andere von der filtrierten Strahlung getroffen wird, kann man Schlüsse auf die Durchdringungsfähigkeit der Strahlung ziehen. Die beiden Lufträume werden durch einen Doppelkondensator gebildet, der aus drei Platten besteht. Die mittlere dieser Platten bildet das erwähnte Filter, und die verschieden starke Ionisation beider Räume wird mittels eines Quadrantelektrometers ohne weiteres auf einer Skala mit Zeiger abgelesen.

Hier sei auch noch das

Universal-Ionometer

angeführt, dessen Anwendung als Härtemesser S. 971 auseinandergesetzt ist.

Die Härteskala nach Fürstenau

wird in Verbindung mit dessen Intensimeter (s. S. 975) benützt. Sie beruht, ähnlich wie das Villardsche Radio-Sklerometer darauf, daß das Verhältnis der Wirkung der direkten Strahlung zu der durch 1 mm Al filtrierten mit der Härte der Strahlung sich ändert. Statt der Ionisationskammer und des Elektrometers verwendet Fürstenau eine Selenzelle und ein Milli-Ampèremeter (Intensimeter). Das Verhältnis der Ausschläge der direkten und der gefilterten Strahlung wird an dem in Fig. 710 dargestellten Schiebe-Lineal mittels des Zeigers „d" abgelesen, und zwar kann dies auf verschiedenen Skalen geschehen, die auf einem drehbaren Prisma „e" angebracht sind. Auf diese Weise kann die Härte in Bénoist-, Wehnelt-, Walter- oder Absorptions-Einheiten angegeben werden.

Der Strahlenanalysator nach Glocker

verwendet die Eigenschaft der Röntgenstrahlen, daß sie an verschiedenen Metallflächen verschieden harte Sekundärstrahlen erregen und

daß die erregende Strahlung stets härter sein muß als die erzeugte Sekundärstrahlung (s. Bd. I, S. 42).

Die zu untersuchende Röntgenstrahlung fällt auf einige, in gewissen Abständen übereinander angeordnete Metallplatten. Die von diesen ausgehenden Sekundärstrahlen belichten eine photographische Platte, und zwar infolge geeigneter Zwischenwände und Schlitze derart, daß

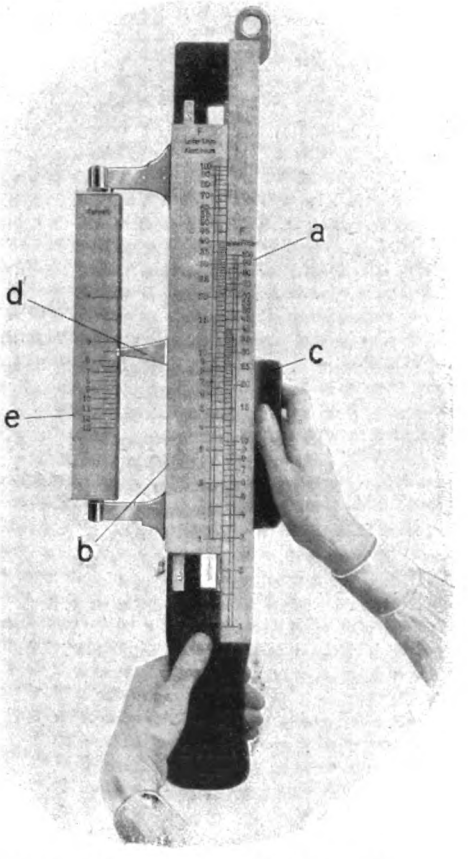


Fig. 710. Fürstenausches Schiebe-Lineal.

jede Sekundärstrahlung von den übrigen getrennt auf die photographische Platte fällt. Natürlich ist auch dafür gesorgt, daß letztere nicht durch die primäre Strahlung direkt belichtet werden kann.

Bei dem von Glocker beschriebenen Instrument, das in Fig. 711 mit herausgezogenem Halter für die Sekundärstrahler dargestellt ist, wurden fünf verschiedene Sekundär-Strahler verwendet, so daß auf der photographischen Platte fünf verschieden geschwärzte Felder entstehen.

(Bei einer Röhren-Distanz von 40 cm und 1,5 bis 3 Milliamp. Sekundär-Stromstärke beträgt die Expositionszeit je nach der untersuchten Strahlung $^1/_2$—2 Minuten.) Die Reihenfolge der Metalle ist so gewählt, daß das oberste Feld auf der photographischen Platte dem härtesten Strahlenbestandteil entspricht. Die Schwärzung des oberen Feldes rührt

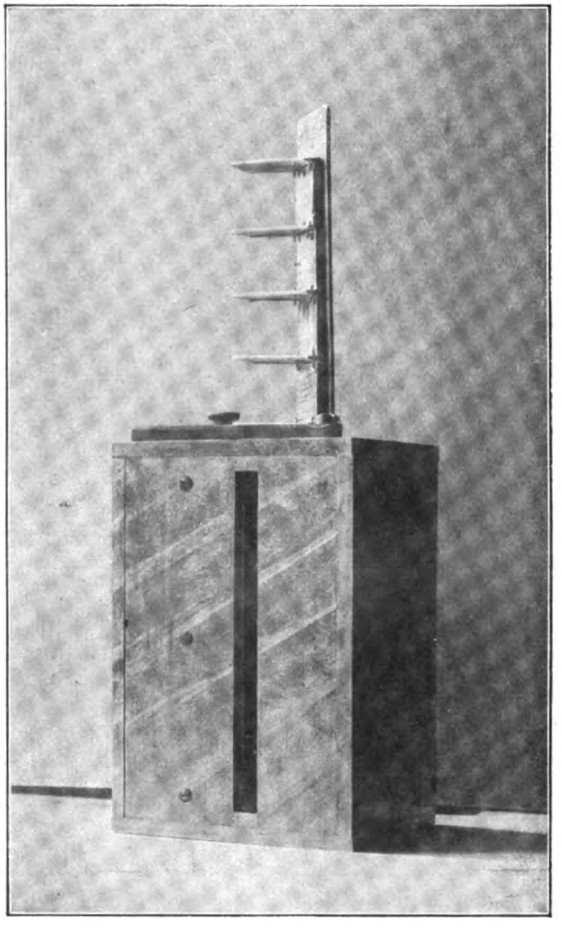


Fig. 711. Strahlenanalysator nach Glocker.

nur von dem Strahlenanteil her, welcher eine Halbwertschicht von mehr als 3 cm Wasser besitzt, die Schwärzung des untersten Feldes von einem solchen, dem eine Halbwertschicht von mehr als $^1/_{10}$ cm Wasser zukommt. Betreffs weiterer Details und der Anwendung des Instrumentes muß auf die in der Literaturübersicht angeführten Publikationen verwiesen werden.

Die idealste Härtemessung ist bei homogener Strahlung die Messung der Wellenlänge bzw. bei einem heterogenen Röntgenstrahlenbündel die Messung der verschiedenen Wellenlängen und der zugehörigen Intensitäten. Im Kapitel Röntgenphysik Bd. I, S. 2—12 wurden bereits die

Röntgenspektrometer,

die diesem Zwecke dienen, beschrieben.

Die bisher angeführten Härtemesser prüfen die Strahlung direkt. Im Gegensatz hierzu sind noch

b) indirekte Härtemesser

zu erwähnen, welche die elektrische Spannung an den Enden der Röntgenröhre messen.

Wie Bd. I, Seite 15 und 32ff. ausgeführt, ist die Härte unter sonst gleichen Verhältnissen von der Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen und diese von der elektrischen Spannungsdifferenz abhängig, welche zwischen den Enden der Röntgenröhre vorhanden ist. Diese Spannungsdifferenz ist bei den meisten in der Praxis üblichen Röntgenapparaten keine konstante, sondern eine sich dauernd ändernde (siehe auch Bd. I, Seite 35). Auch aus diesem Grunde erhalten wir keine homogene Strahlung, sondern ein Gemisch von außerordentlich verschiedenartigen Strahlen. Leider sind wir bei den in der Praxis üblichen Röntgenröhren nicht in der Lage, den zeitlichen Verlauf der elektrischen Spannungsdifferenz (zwischen den Enden der Röntgenröhre) genau wiederzugeben. Dagegen gelingt es, den zeitlichen Verlauf des die Röhre durchfließenden elektrischen Stromes in der „Kurvenform des Sekundärstromes“ zur Darstellung zu bringen (s. S. 814). Da nun der Verlauf des Sekundärstromes in einem bestimmten Zusammenhang mit demjenigen der elektrischen Spannungsdifferenz steht, können wir — allerdings mit Vorsicht — aus der Stromkurve gewisse Schlüsse auf die Spannungskurve und damit auf die Härte der Röntgenstrahlen ziehen.

Während die Darstellung der sekundären Strom- und Spannungskurven komplizierte Apparate erfordert, welche für den praktischen Betrieb kaum in Frage kommen dürften, hat man ein einfaches Mittel, um sich wenigstens von dem Maximalwert der an der Röntgenröhre liegenden elektrischen Spannung und damit von dem Maximalwert der Härte des Strahlengemisches ein Bild zu machen. Es ist dies die schon von Röntgen (s. Bd. I, S. 33) benützte

parallele Funkenstrecke,

die am Röntgenapparat angebracht ist, wie dies z. B. aus den Fig. 553 u. 555 ersichtlich ist. Sie wird mittels zweier Hochspannungskabel mit der Röntgenröhre verbunden. Von zwei vertikal übereinanderstehenden Metallspitzen (nicht Spitze und Platte!) ist die obere mittels eines Schnurzuges verschiebbar, durch ein kleines Gegengewicht ausbalanciert und dadurch ohne weiteres in verschiedenen Höhen einstellbar. Die Entfernung der beiden Spitzen wird durch eine Skala auf weißem Glas, die auf weite Entfernung sichtbar ist, gemessen (Rieder). Über die Bedeutung der parallelen Funkenstrecke habe ich gelegentlich eines Vortrags auf dem 10. Kongreß d. Deutschen Röntgenges. 1914 folgendes bemerkt:

„Dieses Maß ist auch ein recht unvollkommenes, es ist auch nur ein relatives, und wir können damit auch nur unter großer Vorsicht Wirkungen verschiedener Apparate miteinander vergleichen. — Aber es gibt uns doch manch guten Anhaltspunkt. Daß die parallele Funkenstrecke als Maß für die Härte der Röhre von mancher Seite noch stark unterschätzt wird, hat seinen Grund zum Teil vielleicht darin, daß sie falsche Resultate ergibt, wenn die Röhre nicht von Strömen einer Richtung durchflossen wird, sondern von Wechselströmen. Dies kann aber mit den heutigen Hilfsmitteln der Röntgentechnik leicht vermieden werden. Bei gleichgerichtetem Strom gibt uns die parallele Funkenstrecke wenigstens ein Maß für die größte Spannungsdifferenz, welche an der Röntgenröhre liegt, und von dieser höchsten Spannungsdifferenz hängt der Härtegrad der Röhre wesentlich ab."

Wir können somit mittels der parallelen Funkenstrecke entscheiden, welche von 2 Röntgen-Röhren härtere Strahlen liefert, d. h. in welchem der beiden Strahlengemische härtere Strahlen enthalten sind. Dies ist ganz besonders wichtig für die Tiefentherapie.

Da vielfach die parallele Funkenstrecke unrichtig verwendet wird, möge hier noch auf einige Fehler hingewiesen werden. So findet man z. B., daß sie nicht mit den Polen der Röntgen-Röhre, sondern mit den Polen des Röntgenapparates verbunden wird. In diesem Falle ist infolge der der Röntgen-Röhre vorgeschalteten Ventilröhre, Vorschaltfunkenstrecke etc. die Härte der Röhre in Wirklichkeit viel kleiner als sie erscheint. Das gleiche ist der Fall, wenn man statt zweier übereinanderstehender Spitzen, wie dies auch häufig geschieht, Spitze und Platte verwendet. Endlich sei noch erwähnt, daß die Messung der parallelen Funkenstrecke, wenn sie ein Maß für die Härte sein soll, so erfolgen muß, daß man mit der einen Spitze sich der andern langsam nähert, während die Röhre eingeschaltet ist und die Entfernung der beiden Spitzen abliest, bei welcher gerade die Entladung in kräftigen

Funken zwischen den Spitzen überzugehen beginnt. Daß ich diese beinahe selbstverständliche Bemerkung hier noch besonders hervorhebe, hat seinen Grund darin, daß mir von einem bekannten Röntgenologen eine Röntgen-Röhre gezeigt wurde, die 40 cm parallele Funkenstrecke haben sollte. Es gingen nämlich bei 40 cm Spitzenentfernung die Entladungen nicht durch die Röhre, sondern durch die Funkenstrecke; machte man aber die Spitzenentfernung nur wenig größer, so gingen die Entladungen wieder durch die Röhre, und wenn man nun die Spitzen einander näherte, bis kräftige Funken übersprangen, so zeigte sich, daß die parallele Funkenstrecke in Wirklichkeit kaum 20 cm betrug. Bei manchen Ionen-Röhren — und zwar sind es die weniger guten — ist im ersten Augenblick des Einschaltens der Widerstand außerordentlich groß; sobald aber einmal die Röhre angesprochen hat, gehen die Entladungen sehr leicht durch die scheinbar harte, in Wirklichkeit aber weiche Röhre, die dann natürlich auch keine Strahlen von großer Durchdringungsfähigkeit liefert. Wenn man die parallele Funkenstrecke in der angegebenen Weise mißt, indem man die Spitzen allmählich einander nähert, so können derartige Fehler natürlich nicht vorkommen.

Die parallele Funkenstrecke ist aber auch für diagnostische Zwecke, besonders für die Röntgenographie gut verwendbar, weil wir mit ihrer Hilfe rasch die Härte der Aufnahme-Röhre kontrollieren und nötigenfalls mit der Reguliervorrichtung auf den gewünschten Grad bringen können.

Zwei weitere indirekte Härtemeßinstrumente, die jedoch wieder nur Mittelwerte messen, sind das Sklerometer und das Qualimeter.

Das Sklerometer

von Klingelfuß (Verhandl. d. Deutsch. Röntgen-Ges., Bd. IV, 1908, S. 145 und Bd. VII, 1911, S. 120) ist ein Hitzdraht-Milli-Ampèremeter, das an eine in der Mitte der Sekundärspule des Induktoriums angeordnete Hilfsspule angeschlossen ist. Der Induktor muß also die erwähnte Hilfsspule besitzen, wenn man dieses Härtemeßinstrument in Anwendung bringen will. Das Sklerometer mißt in Wirklichkeit Wechselströme, die in der Hilfsspule auftreten, wenn der Induktor in Betrieb ist. Diese Wechselströme stehen in einem gewissen Zusammenhang mit der Spannung an den Enden der Sekundärspule und damit auch mit dem Härtegrad der Röntgenröhre. Sie lassen also Schlüsse auf diesen zu, allerdings nur annäherungsweise, so daß auch bei diesem Instrument von einer „absoluten" Messung nicht die Rede sein kann. Statt die Hilfsspule in der Sekundärwicklung anzuordnen wird sie jetzt meistens in die Primärwicklung eingebaut und das auf

dem Schalttisch befindliche Meßinstrument mit einer Kilovolt-Skala versehen.

Dieses

Kilovoltmeter

genannte Instrument wird jetzt sehr viel angewandt. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß es ebenso wie das Sklerometer nur dann richtige Mittelwerte der Spannung anzeigt, wenn die Apparatur unter den gleichen Verhältnissen benützt wird, unter welchen das Meßinstrument geaicht wurde. Da dies aber sehr häufig nicht der Fall ist, müssen die Angaben des Kilovoltmeters mit größter Vorsicht beurteilt werden. Ich habe deshalb bei den von mir angegebenen Röntgenapparaten das Hochspannungsmeßinstrument niemals mit einer Kilovolt-Skala versehen lassen, sondern es nur in Verbindung mit einer parallelen Funkenstrecke verwendet. So kann es sehr gute Dienste leisten, wenn man bei einer bestimmten Schaltung, einer bestimmten Röhre und auch sonst gleichen Stromverhältnissen zunächst die parallele Funkenstrecke mißt (s. S. 965) und bei der gewünschten Funkenstrecke das Hochspannungsvoltmeter abliest. Man kann dann das letztere an Stelle der weniger bequemen, geräuschvollen und nitrose Gase erzeugenden Funkenstrecke benützen, um die Röhre dauernd zu kontrollieren.

Auch das

elektrostatische Hochspannungsvoltmeter,

das Bergonié („Comptes rendus", Bd. 144, S. 28, 1907) zur Härtemessung verwendet hat, ist nur für relative Messungen — also unter sonst gleichen Bedingungen — brauchbar. Während Bergonié die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Polen der Röntgenröhre elektrostatisch mißt, vereinfachte H. Bauer in seinem

Qualimeter

die Messung dadurch, daß er nur den einen Pol (Kathode) an ein statisches Elektrometer, dem ein Kondensator vorgeschaltet ist, anschließt. (Fig. 712, Bauer). Dieses Instrument kann natürlich — ganz abgesehen davon, daß es auch nur Mittelwerte gibt — auf Genauigkeit nicht Anspruch

Fig. 712.
Qualimeter nach Bauer.

machen, denn seine Angaben sind abhängig von seiner Umgebung, vom Ionisationszustand der Luft, von deren Feuchtigkeitsgehalt usw., so daß es nur unter sonst gleichen Verhältnissen und bei niederen Spannungen annähernde Vergleichswerte geben kann. Es ist ganz besonders unzuverlässig für sehr harte Röntgenstrahlen.

In sehr einfacher Weise kann auch das in den Stromkreis der Röhre geschaltete

Milli-Ampèremeter

verwendet werden, um anzuzeigen, ob sich der Härtegrad einer Röntgenröhre verändert. Denn zeigt es — unter sonst gleichen Verhältnissen — also bei gleichem Apparat, gleicher Primärstromstärke, gleicher Unterbrechungszahl usw. mehr Milli-Ampère, so muß die Röhre weicher geworden sein und umgekehrt. Da nämlich bei sonst unveränderten Verhältnissen auch die durch die Röntgenröhre fließende Energie — welche dem Produkt aus Spannung und Stromstärke proportional ist — die gleiche bleibt, muß auch einer Vergrößerung der Stromstärke eine Verringerung der Spannung und damit auch der Härte entsprechen.

Die Messung der

Quantität bzw. Intensität der Röntgenstrahlung

kann ebenso wie die der Qualität (Härte) direkt oder indirekt geschehen.

a) Direkt messende Instrumente.

Das Chromoradiometer von Holzknecht.

Das erste, die Quantität direkt messende Instrument hat Holzknecht (Bericht des 2. international. Kongresses für Elektrologie und Radiologie, Bern, Sept. 1902, S. 377) angegeben. Er fand, daß die von Goldstein entdeckte Eigenschaft der Kathodenstrahlen, gewisse Salze zu verfärben, auch für Röntgenstrahlen zutrifft und fertigte aus solchen Salzen Reagens-Körper, deren Verfärbung an einer kolorimetrischen Skala abgelesen wurde. Die Einheit dieses Instrumentes bezeichnete Holzknecht mit „1 H“ und stellte für verschiedene Hautstellen fest, wieviel „H“ gegeben werden mußten, um eine bestimmte Reaktion hervorzurufen. Dieses Instrument wurde praktisch vielfach angewandt, bis es durch das

Chromoradiometer von Sabouraud u. Noiré

verdrängt wurde. Letzteres benutzt als Reagens-Körper ein mit Barium-Platin-Cyanür versehenes Kartonblättchen. Durch Bestrahlung wird das gelbgrüne Barium-Platin-Cyanür gebräunt, und zwar um so stärker, je länger es bestrahlt wird und je größer die Intensität der Bestrahlung war. Ein braungefärbtes Vergleichsblättchen — Teinte B — gibt die Dosis an, bei welcher auf normaler Haut gerade ein Erythem auftritt. Das Testblättchen ist in halber Fokus-Hautdistanz anzubringen, und der Vergleich beider Blättchen hat bei Beleuchtung mit Kohlenfaden-Glühlicht zu geschehen.

Da die Bräunung der Reagenskörper außer von der Quantität aber auch von der Qualität (Härte) abhängt, so ist es einleuchtend, daß für verschiedenharte Strahlen die gemessenen Quantitäten ganz verschieden sind. Diesen Nachteil hat man in der Praxis dadurch einigermaßen zu umgehen versucht, daß man für eine größere Strahlenhärte auch eine größere Anzahl von Sabouraud & Noiré-Einheiten zuläßt. Natürlich macht der Umstand, daß wir nicht mit homogenen Strahlen, sondern mit verschiedenartig zusammengesetzten Strahlengemischen arbeiten, diese Methode noch unzuverlässiger.

Die Holzknecht-Skala

zum Sabouraud & Noiréschen Radiometer ist eine wesentliche Verbesserung des letzteren. Mittels eines Farbkeiles wird es ermöglicht, Zwischenstufen der Färbung des Blättchens abzulesen und dadurch auch — wenigstens bei größeren Quantitäten — das Meßblättchen nicht aus halber, sondern aus ganzer Hautentfernung zu bestrahlen. Fig. 713 zeigt das Holzknechtsche Instrument. A B ist die den Farbkeil bildende, durchsichtige Celluloid-Platte, unter welcher ein gelbes, halbkreisförmiges Test-Blättchen C verschoben werden kann, sodaß es je nach seiner Lage heller oder dunkler gefärbt erscheint. Das bestrahlte, gleichfalls halbkreisförmige Barium-Platin-Cyanür-Blättchen D, das auf dem Karton E aufgeklebt ist, be-

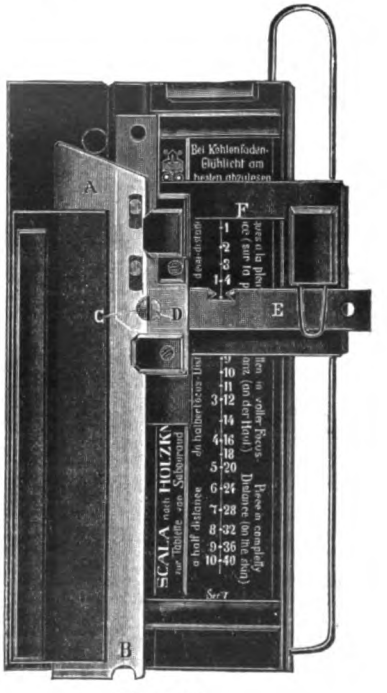


Fig. 713.
Holzknecht-Skala.

findet sich außerhalb des Farbkeiles und wird mit dem Test-Blättchen verglichen, indem der Rahmen F solange verschoben wird, bis beide Farben übereinstimmen. Ein Index an E zeigt dann auf der Skala die Quantität in „Holzknecht-Einheiten" an, die so gewählt sind, daß 5 Holzknecht-Einheiten einer Sabouraud & Noiréschen Einheit entsprechen. Es sind zwei Skalen vorhanden, und zwar ist die mit den kleineren Zahlen bei Bestrahlung des Blättchens in halber, diejenige mit den 4fach größeren Zahlen bei Bestrahlung in ganzer Fokus-Haut-Distanz anzuwenden.

Statt des Barium-Platin-Cyanürs-Blättchens wird in dem

Quantimeter nach Kienböck

photographisches Papier verwendet, das nach bestimmter Vorschrift zu entwickeln ist. Die mehr oder weniger starke Schwärzung wird an

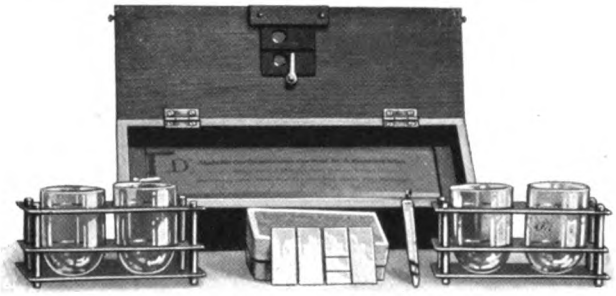


Fig. 714. Quantimeter nach Kienböck.

einem Helligkeitskeil abgelesen. (Fig. 714, Reiniger.) Die Kienböck-Einheit „X" ist so gewählt, daß 10 derselben etwa einer Sabouraud & Noiré-Einheit, also 2X einem H, entsprechen.

Bei dem

Kalomel-Radiometer nach Schwarz

wird eine „Kalmelogen" genannte Flüssigkeit bestrahlt, die sich durch Röntgenstrahlen trübt. Die der Strahlenmenge proportionale Stärke der Trübung wird mit derjenigen einer Testflüssigkeit verglichen.

Das Ionto-Quantimeter nach Szillard

(s. Strahlentherapie, Bd. V, S. 742, 1915), (Fig. 715, Reiniger) beruht auf der Eigenschaft der Röntgenstrahlen, Luft zu ionisieren, d. h. elektrisch leitend zu machen (s. Bd. I, S. 37). Bei diesem Instrument wird ein mittels einer kleinen Elektrisiermaschine geladenes Elektroskop durch die Bestrahlung entladen und aus der Zeit, die bis zur völligen Ent-

ladung verstreicht, auf die Strahlenmenge geschlossen; je größer letztere, desto geringere Zeit ist zur Entladung erforderlich.

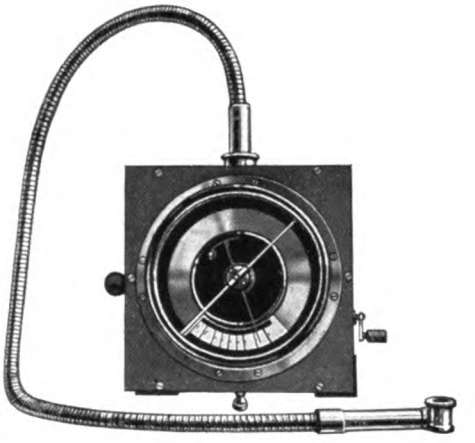


Fig. 715.
Ionto-Quantimeter nach Szillard.

Das Universal-Ionometer von Siemens & Halske (s. H. Greinacher, Physikalische Zeitschr., Bd. 15, S. 414, 1914) beruht auf ähnlichem Prinzip wie das Szillardsche Instrument und ist sowohl zur Messung der Intensität als der mittleren Härte der Röntgenstrahlen verwendbar. Die zu messenden Strahlen fallen durch eine verstellbare Iris- oder Schiebeblende in die Ionisierungskammer und bringen ein Elektrometer zum Ausschlag. Je nach der Größe der Blendenöffnung wird für eine bestimmte Strahlung der Ausschlag verschieden sein. Reguliert man nun die Blendenöffnung bei allen Messungen so, daß dieser Ausschlag immer der gleiche ist, so verhalten sich die Strahlenintensitäten umgekehrt proportional den Blendenöffnungen. Eine entsprechend gewählte Teilung an der Blende gibt ohne weiteres die Intensität an. Die Strahlenhärte wird erhalten, wenn man ein Aluminium-Blättchen von 1 mm Dicke vor die Blende bringt. Je härter die Strahlung, um so geringer ist die Absorption im Aluminium und um so größer wird bei gleicher Blendenöffnung der Ionisierungsstrom und damit auch der Ausschlag des Elektrometers sein. Letzterer ist also, ähnlich wie beim Radio-Sklerometer von Villard (s. S. 961), ein Maß für den Härtegrad.

Das Ionometer nach Wulf (Fig. 716, Koch & Sterzel) besteht aus einem stabilen, leicht beweglichen Stativ, das ein zylindrisches Bleischutzgehäuse trägt, in welchem sich das Meßinstrument und eine Ladevorrichtung befinden. Als Meßinstrument wird ein Fadenelektrometer nach Professor Wulf verwendet. Die besonderen Vorzüge dieses Instrumentes sind neben seiner großen Empfindlichkeit die Trägheitslosigkeit seiner Anzeige, die ohne Verzögerung erfolgt, und die Stabilität des Instrumentes. Durch die sofortige trägheitslose Anzeige der Spannung fällt das zeitraubende Warten, bis das Instrument sich richtig eingestellt hat, fort und die

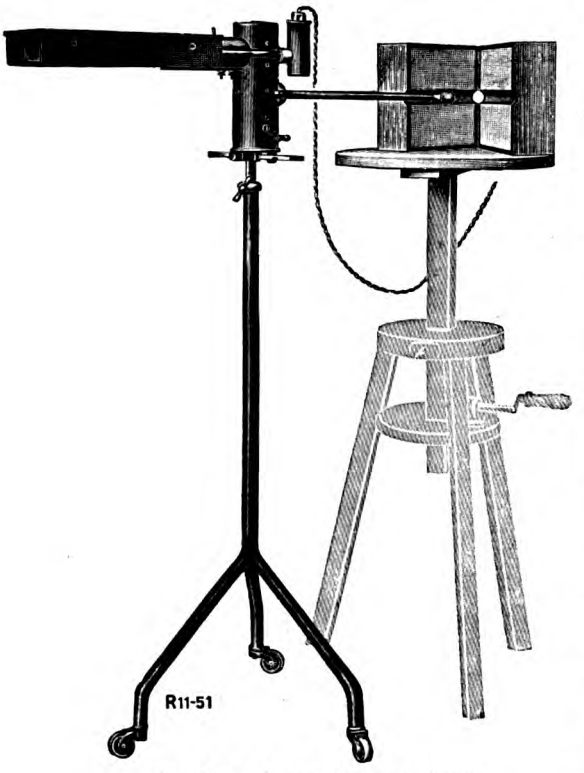


Fig. 716. Ionometer nach Wulf.

Messungen können in rascher Folge hintereinander vorgenommen werden.

Aus dem Schutzgehäuse ragt ein mit Blei geschützter Arm heraus, der an seinem Ende die kleine Ionisationskammer trägt. (Der starre Arm, der sich nur für Aichmessungen eignet, kann ersetzt werden durch einen biegsamen Schlauch, der es gestattet, die an seinem Ende befindliche Ionisationskammer an den Patienten zu bringen.) Form und Beschaffenheit dieser Ionisationskammer sind so gewählt, daß sie für die in der Röntgenstrahlen-Therapie gebräuchlichen Wellenlängen richtige Werte angibt, was an Vergleichskurven, die unter Verwendung einer großen Ionisationskammer gewonnen wurden, nachgewiesen werden kann.

Die Ladung der inneren Elektrode der kleinen Ionisationskammer, die hoch isoliert ist und in leitender Verbindung mit dem Faden des Elektrometers steht, wird an einer Skala beobachtet, auf der der Faden des Elektrometers mit Hilfe einer kleinen, am Schutzgehäuse angebrachten Lampe durch Mikroprojektion scharf abgebildet wird.

Die Messung der Intensität der Röntgenstrahlen erfolgt, indem man die Entladungszeit der Ionisationskammer beobachtet. Nachdem man das Instrument so aufgestellt hat, daß die Ionisationskammer in den Strahlengang zu stehen kommt, lädt man durch langsame Drehung der Kurbel am Schutzgehäuse das Elektrometer auf. Man beobachtet dabei, daß der Faden von einem Ende der Skala nach dem anderen Ende zu wandert. Fallen Röntgenstrahlen auf die Ionisationskammer auf, so entlädt sich diese und der Faden wandert wieder zurück. Es wird nun mit der Stoppuhr beobachtet, welche Zeit der Faden braucht, um eine bestimmte Strecke der Skala zu durchwandern.

Der Siemens-Röntgendosismesser

verwendet zur Verstärkung der äußerst schwachen Ionisationsströme des Ionometers eine Glühkathoden-Verstärkerröhre. Hierdurch ist es möglich, die Röntgendosis durch den Ausschlag eines Zeigerinstrumentes an einer Skala zu ermitteln. Die Dosis kann also jederzeit ohne weiteres festgestellt werden und gewünschtenfalls auch durch eine Registriervorrichtung auf einem ablaufenden Papierstreifen aufgezeichnet werden. Siemens & Halske beschreiben den Dosismesser wie folgt:

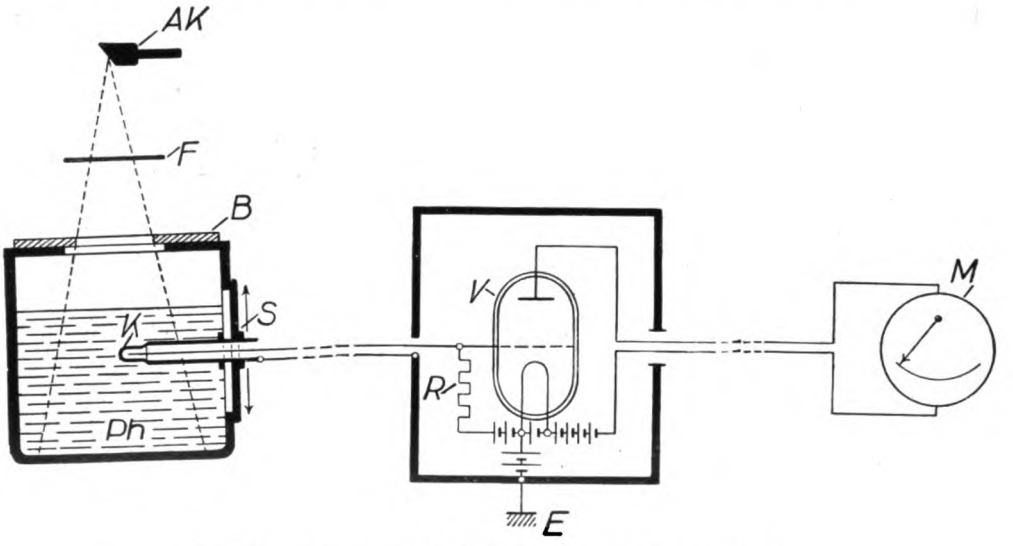


Fig. 717. Schema des Siemens'schen Röntgendosismessers.

Der Siemens-Röntgendosismesser (Fig. 717) besteht im wesentlichen aus zwei Teilen, einer am Ende eines ungefähr 2 m langen, hochisolierenden, metallgepanzerten Kabels befestigten Ionisationskammer und dem sogenannten Siemens-Röhrengalvanometer.

Das letztere zergliedert sich auch wieder in zwei Teile, in den sogenannten Verstärkerkasten und einen Meßtisch. In den Verstärkerkasten mündet das hochisolierende Kabel ein, an dessen Ende die Ionisationskammer befestigt ist. Innerhalb des mit Blei ausgekleideten Kastens befindet sich ein mehrstufiger Widerstand R und ein Verstärkerrohr V. Der von der Innenelektrode der Ionisationskammer aufgefangene Ionisationsstrom wird durch das hochisolierende Kabel dem Widerstande zugeführt und fließt durch diesen zur Erde E ab.

Zwischen den Enden des Widerstandes R entsteht demnach eine Spannung, die dem jeweiligen Ionisationsstrom proportional ist. Diese Spannung ist der Verstärkerröhre V als Gitterspannung aufgedrückt.

Der zur Anode der Verstärkerröhre fließende Anodenstrom stellt demnach ein Maß der zwischen den Enden des Widerstandes R bestehenden Spannung, somit ein solches des Ionisationsstromes und daher ein Maß der Sekundendosis dar. Der Anodenstrom wird vom Verstärkerkasten durch ein Kabel, dessen Länge beliebig gewählt werden kann, einem innerhalb des Meßtisches eingebauten Präzisions-Zeigergalvanometer M zugeführt. Auf einem Meßtische befinden sich die verschiedenen zur Einschaltung des Meßgerätes und seiner Kontrolle erforderlichen Schalter und ein Hilfsmeßgerät. Innerhalb des Meßtisches befinden sich auch die zum Betriebe der Verstärkerröhre erforderlichen Stromquellen.

Fig. 718.
Registriervorrichtung zum Siemens'schen Röntgendosismesser.

An den Meßtisch kann auch ein registrierendes Meßgerät (Fig. 718) angeschlossen werden, das auf einen ablaufenden Papierstreifen die Sekundendosis dauernd aufzuzeichnen gestattet.

In der Abbildung 717 ist das Gerät bei Benutzung mit einem Wasserphantom wiedergegeben. Wie hieraus hervorgeht, ist das Kabel mit der Kammer K in den Schlitten S des Wasserphantoms Ph eingeführt, so daß die Kammer K in verschiedene Wassertiefen eingestellt werden kann. Zur Herstellung verschiedener Feldgrößen dienen Blenden B, die auf den Bleideckel des Phantoms aufgelegt werden.

Die Eigenschaft des Selens, ähnlich wie durch Auftreffen von Lichtstrahlen auch durch Röntgenstrahlen seine elektrische Leitfähigkeit zu ändern (Athanasiadis, Annal. d. Physik, Bd. 27, S. 890, 1908) benutzten E. Ruhmer und Max Levy im Jahre 1904 zur Konstruktion eines Meßinstruments, das sie „Röntgen-Selen-Photometer" nannten. Letzteres hat sich jedoch nicht in die Praxis einführen können. Später hat Fürstenau diese Methode wieder aufgenommen und das Instrument wesentlich verbessert. Fig. 719 zeigt

das Intensimeter nach Fürstenau.

In der mit einer langen Doppellitze versehenen Kapsel aus Karton befindet sich eine Selenzelle. Sie wird in der Fokus-Hautentfernung be-

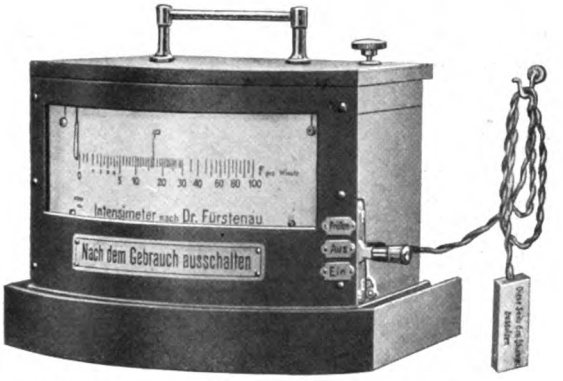


Fig. 719. Intensimeter nach Fürstenau.

strahlt und die Änderung ihrer Leitfähigkeit an einem Zeigerinstrument, das zweckmäßig hinter der Schutzwand angebracht ist, abgelesen. Die Skala dieses Meßinstrumentes ist derart gewählt, daß bei einem Ausschlag von 100 Skalenteilen — bei Verwendung mittelharter Strahlen — die volle Verfärbung der Sabouraud-Tablette innerhalb einer Minute erfolgt. Bei einem Zeigerausschlag von 50 Skalenteilen wären dementsprechend zwei Minuten zur Sabouraud-Dosis notwendig usw.

Bei Strahlen höheren Härtegrades reagiert die Sabouraud-Tablette infolge der geringeren Absorption auf die gleiche Strahlenmenge geringer, d. h. je härter die Strahlung ist, desto mehr Strahlen muß man anwenden, um eine Verfärbung bis zur Teinte B (Volldosis) zu erhalten. Das Intensimeter trägt dieser Tatsache dadurch Rechnung, daß ihm von Fürstenau eine Tabelle beigegeben wurde, aus welcher man ersehen kann, wieviel F (Intensimeter-Einheiten) bei jedem Härtegrad der Sabouraud-Volldosis entsprechen. Es zeigt sich, wie zu erwarten ist, daß eine um so größere F-Zahl mit

Fig. 720.
Intensimeter nach Fürstenau mit 2 Meßbereichen.

der Sabouraud-Volldosis identisch ist, je höher der Härtegrad der Strahlen ist.

Fig. 720 zeigt eine Ausführung des Intensimeters mit zwei Meßbereichen, durch welche die Meßgenauigkeit, besonders kleinerer Dosen, erhöht wurde.

Während die vorstehenden Meßmethoden die Strahlung direkt messen, wird bei den

b) indirekt messenden Instrumenten

die Stromstärke im Sekundärkreis, oder die infolge der Erwärmung an der Röntgenröhre auftretende Temperaturerhöhung bestimmt. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß die indirekten Methoden nur dann brauchbare Vergleichswerte ergeben, wenn letztere unter sonst genau gleichen Bedingungen gewonnen worden sind.

Zur Messung der Stärke des Sekundärstromes werden

Milli-Ampèremeter,

die nach dem Drehspulsystem konstruiert und mit einem kleinen Kondensator versehen sind, verwendet. Diese Drehspul-Milli-Ampèremeter zeigen nur Ströme einer Richtung an. Sind also auch Ströme ungewünschter Richtung im Sekundärkreis vorhanden, so erhält man ganz falsche Messungen, da in diesem Fall nur die Differenz beider Ströme angegeben wird. Es ist deshalb von Wichtigkeit, daß wir in der Glimmlichtröhre (s. Fig. 721) eine Vorrichtung besitzen, die uns die Ströme ungewünschter Richtung anzeigt. Aber auch abgesehen davon sind die Angaben des Milli-Ampèremeters mit großer Vorsicht zu beurteilen, und zwar aus zweierlei Gründen: Erstens gibt das Drehspul-Milli-Ampèremeter einen Mittelwert aus all den zwischen Null und dem Maximalwert liegenden Stromstärken an, und zweitens hängt die Strahlenquantität außer von der Milli-Ampèrezahl noch von vielen anderen in der Röntgenröhre gelegenen Faktoren ab. Bei Verwendung verschiedener Apparaturen und verschiedener Röntgenröhren können also bei gleicher Milli-Ampèrezahl außerordentlich verschiedene Röntgenstrahlenquantitäten erhalten werden (s. auch S. 853). Die Ablesungen des Milli-Ampèremeters sind somit nur relativ zu bewerten. Unter dieser Voraussetzung, also unter sonst gleichen Verhältnissen, ist allerdings das Milli-Ampèremeter ein sehr brauchbares Instrument, um so mehr, als seine Ausschläge, wie Seite 968 schon erörtert, uns auch gestatten, Rückschlüsse auf die Änderung des Härtegrades der Röntgenröhre zu ziehen.

Bei der zweiten indirekten Meßmethode, die von Köhler angegeben wurde, soll die Strahlenintensität mit Hilfe eines

Thermometers

bestimmt werden, welches die Temperatur der Glaswand der Röntgenröhre anzeigt. Wie S. 884 u. Bd. I, Seite 19 angeführt, wird die Erwärmung der Glaswand durch die sogenannten Antikathodenstrahlen erzeugt; deren Intensität bezw. deren Wärmewirkung braucht jedoch durchaus nicht proportional der Intensität der verwendeten Röntgenstrahlen zu verlaufen.

Ruhmer hat vorgeschlagen, die Gehrckesche Oszillographen- oder

Glimmlichtröhre,

Fig. 721, zur Messung der Sekundärstromstärke zu verwenden. Dies ist jedoch nicht angängig, da uns diese Vorrichtung nur die maximale Höhe der Stromkurve anzeigt. Wenn auch nicht als Meßapparat, so ist die Glimmlichtröhre doch als Kontrollinstrument von großem Wert, da sie uns anzeigt, ob nur Ströme gewünschter Richtung durch die Röntgenröhre fließen oder nicht. Im ersteren Fall zeigt nur einer der beiden Drähte blaues Glimmlicht, im zweiten Fall beide. Die Länge des Glimmlichtes gibt uns den Höchstwert (Amplitude) der Stromkurve des durch die Röntgenröhre fließenden Stromes an, und im rotierenden Spiegel betrachtet, gibt uns das Glimmlicht den Verlauf der Sekundärstromkurve (s. S. 814).

Fig. 721. Glimmlichtröhre.

„Über die Messung der Intenstiät und Härte der Röntgenstrahlen" hat u. A. Kröncke eingehende experimentelle Untersuchungen angestellt. Von den Schlüssen, die er aus seinen Versuchen zieht, möchte ich die folgenden anführen:

1. *„Die Intensität der Strahlung einer Röntgenröhre ist direkt proportional dem Strome durch die Röhre, und eine quadratische Funktion der Spannung an der Röhre.*
2. *Die mit Gleichspannung erzeugten Röntgenstrahlen sind durchaus inhomogen; von Homogenität der Strahlen ist selbst dann nicht die Rede, wenn sie eine Aluminiumschicht von 6 mm durchdrungen haben und dadurch auf weniger als 1 Proz. ihres ursprünglichen Betrages abgeschwächt sind.*
3. *Die Härte der Röntgenstrahlen ist völlig unabhängig vom Strom durch die Röhre und daher durch die Spannung an der Röhre eindeutig definiert. Der Grad der Inhomogenität der Strahlen scheint praktisch unabhängig von der Spannung zu sein."*

Zur Messung der

Bildschärfe,

welche mit einer Röntgenröhre zu erzielen ist, dient das Fokometer von Walter, Fig. 722 (Seifert), dessen Prinzip bereits Bd. I, Seite 49ff.

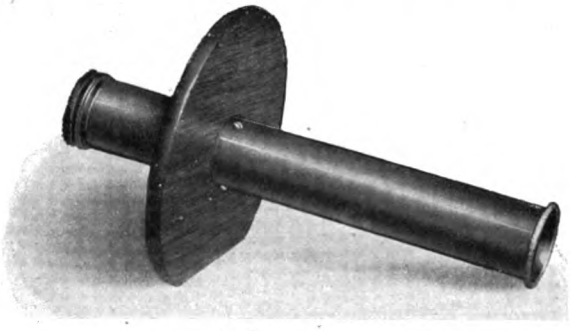


Fig. 722. Fokometer nach Walter.

beschrieben ist. Einige mit dem Fokometer hergestellte Röntgenogramme sind Bd. I, Taf. II in Fig. 10 abgebildet (s. auch Bd. I, S. 49).

Die Vorrichtungen und Methoden zur Bestimmung der Lage von Fremdkörpern haben durch den Krieg ganz besondere Bedeutung gewonnen; ihre Zahl, die schon zu Friedenszeiten sehr groß war, beträgt jetzt mehrere Hundert. In Bd. I, Seite 61ff. hat Prof. R. Grashey bereits über die Fremdkörperbestimmung berichtet, sodaß hier nur darauf verwiesen werden soll.

C. Verschiedene Hilfsmittel.

1. Für Durchleuchtungen.

Für die Röntgen-Durchleuchtung ist eine vollkommene Verdunkelung des Raumes notwendig. Vielfach wird diesem Punkt nicht die genügende Aufmerksamkeit geschenkt. Es sind nicht nur die Fenster mit geeigneten

Verdunklungs-Vorrichtungen

zu versehen, welche absolut dicht schließen, sondern auch das von der Röntgen-, Ventil- und Glimmlichtröhre ausgehende Licht ist möglichst vollständig abzublenden. Auch die an den Türen häufig zu findenden Undichtheiten sind zu beseitigen. Wenn diese Vorsichtsmaßregeln

auch für manche einfachere Durchleuchtung nicht von großer Wichtigkeit sind, sind sie es doch für diejenigen von schwieriger durchleuchtbaren Körperteilen. In letzterem Falle ist es angezeigt, vor der Durchleuchtung einige Minuten im Dunkeln oder im rot beleuchteten Raum zu verbringen, um das Auge zu adaptieren. (Die rote Farbe ist als Komplementär-Farbe zur grünen des Leuchtschirmbildes die günstigste.) Zweckmäßig sind auch dichtschließende Brillen mit dunkelroten Gläsern, die man einige Zeit vor der Durchleuchtung trägt.

Durchleuchtungsschirme und Zubehör.

Während früher ausschließlich der Barium-Platin-Cyanürschirm verwendet wurde — ein Karton, der auf einer Seite mit den feingepulverten, gelbgrünen Kristallen von Barium-Platin-Cyanür, auf der anderen mit schwarzem Papier überzogen ist —, werden jetzt der „Astral"-Schirm (Rupprecht), der „Ossal"-Schirm (Heyden), der „Sirius"-Schirm (Kahlbaum) usw. fast allgemein vorgezogen. Bei den letztgenannten (weißen, aber gleichfalls gelbgrün fluoreszierenden) Schirmen wird eine Substanz verwendet, die hauptsächlich aus kieselsaurem Zink besteht (s. Bd. I, S. 37). Im Gegensatz zum Barium-Platin-Cyanür, das nur so lange leuchtet als Strahlen auffallen, leuchten die Astral-, Ossal- und Sirius-Schirme etwas nach. Es hat sich jedoch gezeigt, daß dies für die praktische Anwendung nicht störend ist. Ein großer Vorzug der letztgenannten Schirme besteht neben dem geringeren Preis darin, daß sie im Laufe der Zeit sich nicht verändern, während das Barium-Platin-Cyanür durch Röntgenstrahlen gebräunt wird und damit wesentlich an Leuchtkraft verliert. Wenn auch durch schwache Belichtung mit zerstreutem weißem Licht (direktes Sonnenlicht ruft Bräunung hervor!) die Verfärbung wieder teilweise zurückgeht, so ist sie bei langer und häufiger Einwirkung von Röntgenstrahlen schließlich doch bleibend.

Die Durchleuchtungsschirme sollen stets mit genügend dicken Bleiglasplatten bedeckt werden, damit der Beobachter gegen die den Schirm durchdringenden Röntgenstrahlen möglichst geschützt ist. Zweckmäßig ist es auch, den Holzrahmen des Schirmes noch mit Blei zu belegen und mit bleigeschützten Handgriffen zu versehen, um auch die außerhalb der Leuchtfläche auftreffenden Strahlen nach Möglichkeit abzublenden. Übrigens soll der Untersuchende stets darauf achten, daß die Röhrenblende nie größer eingestellt wird als unbedingt nötig ist, keinesfalls aber größer, als zur Belichtung des ganzen Leuchtschirmes notwendig ist. Wenn dieses beachtet wird, ist der Bleischutz des Holzrahmens und der Handgriffe nicht notwendig.

Zur raschen und bequemen Anfertigung von Schirmpausen hat Weiser einen praktischen

Pauspapierhalter

mit Papierrolle und Spannvorrichtung angegeben (Heyden), dessen Konstruktion aus Fig. 723 ersichtlich ist. Er ist leicht am Durchleuchtungsschirm anzubringen.

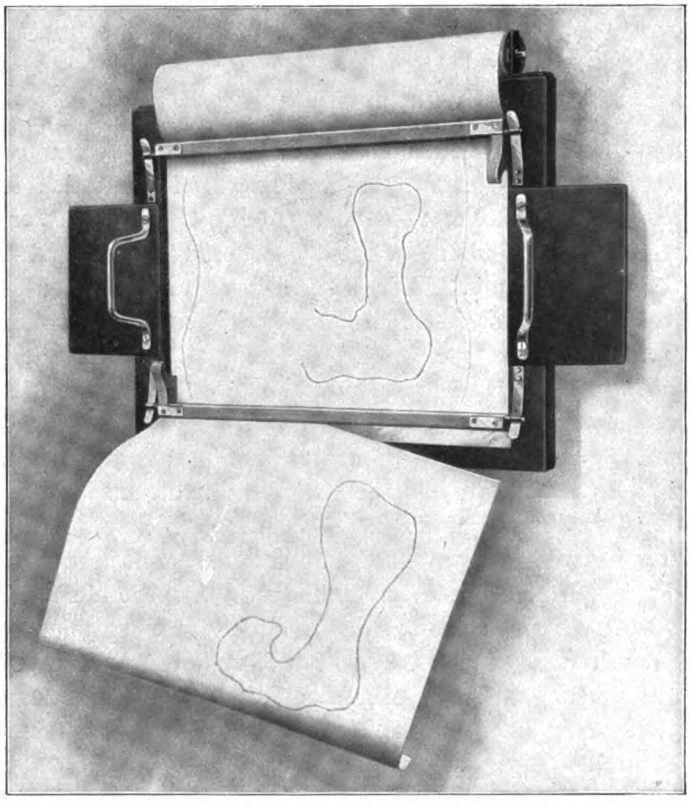


Fig. 723. Pauspapierhalter nach Weiser.

Um Verkleinerungen des Röntgenschirmbildes während der Durchleuchtung vornehmen zu können hat P. Stumpf (Münchn. Med. W. 1922, No 31) den

„Parvograph"

konstruiert, der in Fig. 724 abgebildet ist. Er ist an jedem Durchleuchtungsschirm ohne weiteres zu befestigen und gibt durch Umfahren des Leuchtschirmbildes mittels eines Griffels eine maßstäbliche Verkleinerung von 1 : 4.

Bei Untersuchungen Lungenkranker bringt man zweckmäßig am

Durchleuchtungsschirm das „Schutzschild nach Peltason“ an (Fig. 725, Reiniger), hinter dem sich der Kopf des Patienten befindet.

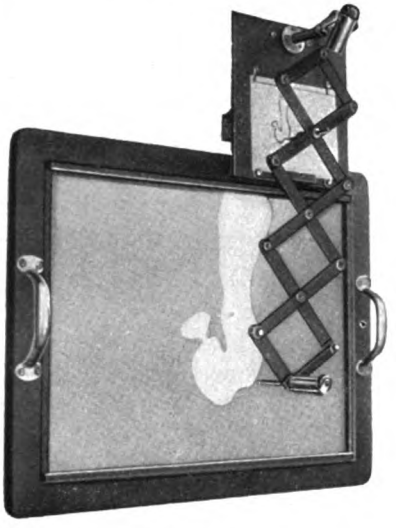


Fig. 724.
Parvograph nach Stumpf.

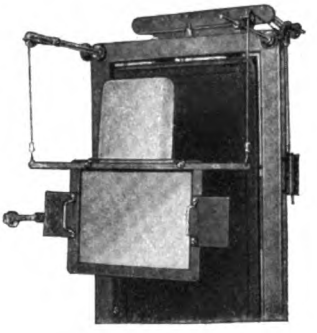


Fig. 725.
Durchleuchtungsschirm mit Schutzschild nach Peltason.

Eine für manche Zwecke recht brauchbare Form des Durchleuchtungsschirmes ist

der Kompressionsblendenschirm

Fig. 726 (Polyphos). Ein mit Blei ausgeschlagener Holzkonus C_1, C_2, C_3 trägt an seiner kleinen Öffnung den mit Bleiglas bedeckten Durch-

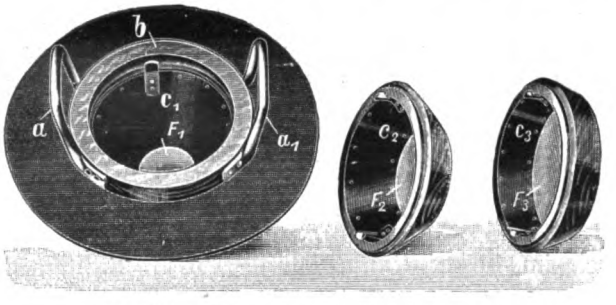


Fig. 726. Kompressions-Blendenschirm.

leuchtungsschirm F_1, F_2, F_3. Der Konus sitzt in einem mit Handgriffen a, a_1 versehenen Ring b, der zum Schutz des Beobachters mit einer Bleischeibe versehen ist, sodaß bei richtiger Einstellung der Röhren-

Blende der Untersuchende von direkten Strahlen nicht getroffen werden kann. Es lassen sich drei Einsätze mit verschieden großen Schirmen verwenden.

Holzknecht erzielt die Kompressionsdurchleuchtung mittels seines

Durchleuchtungs-Kompressoriums,

Fig. 727 (Sommer), das in der aus der Figur ersichtlichen Weise hinter dem Durchleuchtungsschirm angebracht, aber mit einem Handgriff vor ihm dirigiert wird. Während bei dem Kompressionsblendenschirm (Fig. 726) sowohl eine Dickenverringerung des Körpers als

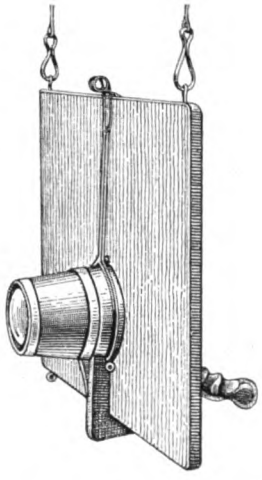


Fig. 727.

Durchleuchtungskompressorium mit Bucky-Effekt nach Holzknecht.

eine möglichst große Annäherung des Schirmes an den zu untersuchenden Körperteil erzielt wird, ist bei dem Holzknechtschen Instrument nur das erstere der Fall. Dagegen kommt bei ihm der Bucky-Effekt (s. S. 922) zur Geltung, indem ein Teil der vom Körper ausgehenden Sekundärstrahlung das Schirmbild nicht treffen kann, wodurch letzteres verbessert wird. Außerdem hat es den Vorzug, daß es an jedem vorhandenen Schirm leicht angebracht und wieder von ihm abgenommen werden kann.

Um auch im hellen Raum durchleuchten zu können, hat man schon zu Beginn der Röntgenaera eine

Kryptoskop

genannte Vorrichtung geschaffen, die aus einem Durchleuchtungsschirm, einem konischen Kameraauszug und einem verschiebbaren, lichtdicht an die Augen ansetzbaren Rahmen besteht (Fig. 728).

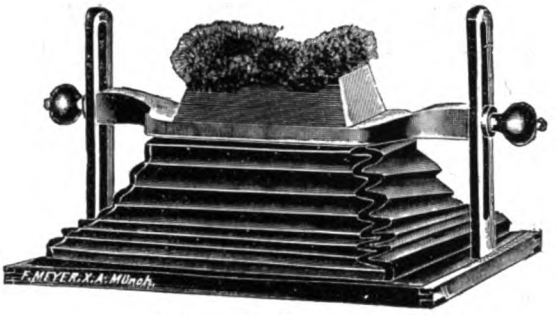


Fig. 728. Kryptoskop.

Eine für die Fremdkörperbestimmung wichtige Abänderung des üblichen Kryptoskops hat Grashey im

Stirn-Kryptoskop

oder, wie Holzknecht es nennt, „Monokel-Kryptoskop" angegeben (Fig. 729), das mittels eines Stirnbandes lichtdicht an ein Auge angesetzt werden kann. Es ist so eingerichtet, daß es sowohl für das

Fig. 729.
Stirn-Kryptoskop nach Grashey.

linke als für das rechte Auge zu benutzen ist. Mit Hilfe dieser Vorrichtung ist man imstande, im hellen Raum operieren und röntgenoskopisch untersuchen zu können, was ganz besonders für die Entfernung von Fremdkörpern sich aufs beste bewährt hat. Statt des von Grashey in Verbindung mit dem Stirn-Kryptoskop verwendeten Operationstisches kann natürlich auch ein Trochoskop (s. S. 930) verwendet werden.

Das

Radioskop nach Chaoul

besteht aus einem lichtdichten Holzkasten, dessen obere Fläche, auf welcher der zu untersuchende Körperteil liegt, in wagrechte oder

schräge Lage gebracht werden kann (Fig. 730 und 731). Unter der Lagerplatte wird — mit der Schichtseite nach unten — ein Leucht-

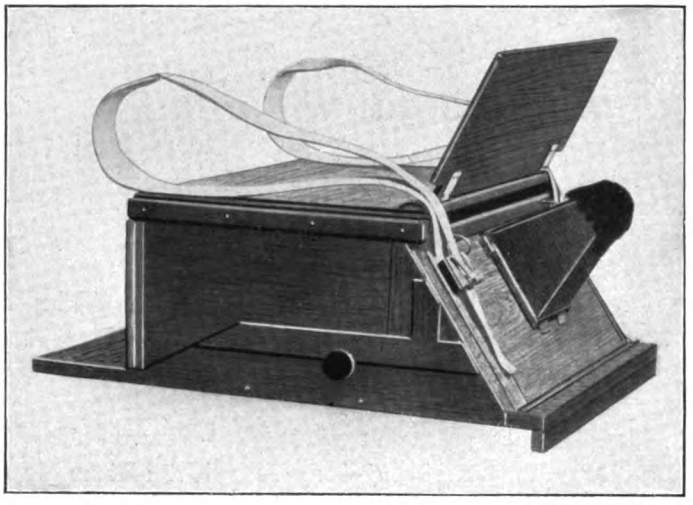


Fig. 730.
Radioskop nach Chaoul.

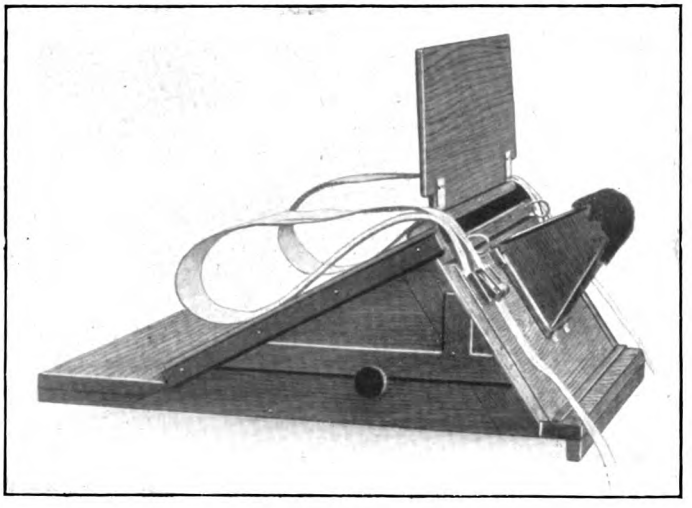


Fig. 731.
Radioskop nach Chaoul.

schirm eingeschoben. Das auf letzterem erscheinende Bild wird mittels eines drehbaren Spiegels ins Auge des Beobachters reflektiert. Fig. 732 und 733 zeigen die Anwendung des Radioskops bei Hori-

zontal- und Schräglagerung des Patienten. Im letzteren Fall wird dieser durch Haltegurte befestigt. Unmittelbar an die Durchleuch-

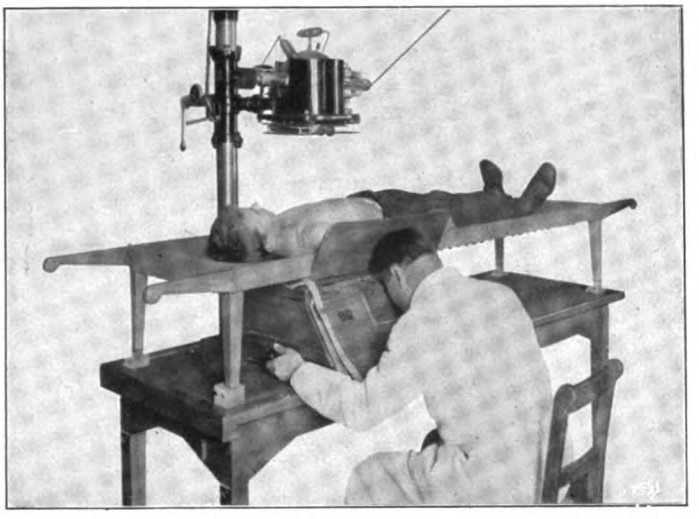


Fig. 732.
Radioskop nach Chaoul. (Horizontallagerung.)

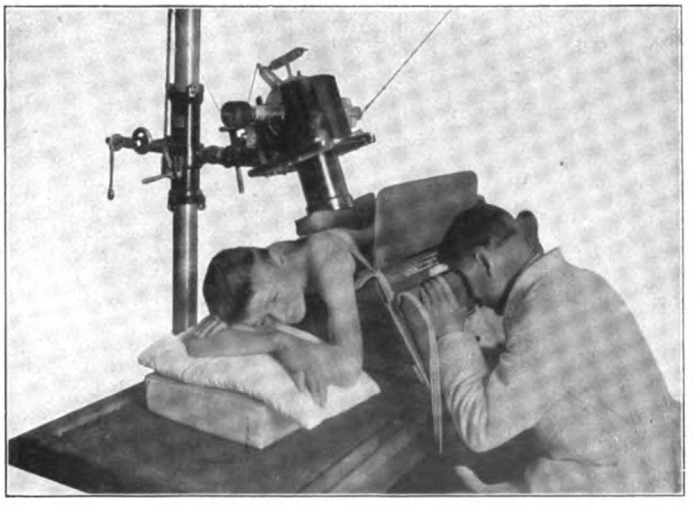


Fig 733.
Radioskop nach Chaoul. (Schräglagerung.)

tung anschließend kann die Aufnahme erfolgen, indem der Durchleuchtungsschirm herausgenommen und durch eine Plattenkassette ersetzt wird.

Die hinter dem Durchleuchtungsschirm palpierende, gefährdete Hand soll der

Löffeldistinktor nach Holzknecht

ersetzen, Fig. 734 (Sommer), der ähnlich wie das Durchleuchtungs-Kompressorium (Fig. 727) mittels eines Handgriffes vor dem Schirm bewegt wird. Ein Metallring an der löffelartigen Vertiefung zeigt am

Fig. 734.
Löffeldistinktor.

Fig. 735.
Punktdistinktor.

Schirm die Palpationsstelle an. Um einzelne Punkte — besonders des Abdomens — hinter dem Schirm kennzeichnen zu können, benützt man den

Punktdistinktor nach Holzknecht,

Fig. 735 (Sommer).

Der Bleiknopfzeiger von Lenz,

Fig. 736, soll die vom Patienten selbst vorzunehmende Palpations-Bewegung kennzeichnen. Der Bleiknopf „P" ist am Ende eines langen

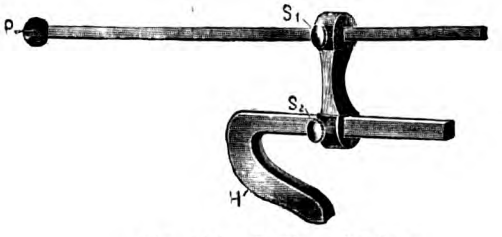


Fig. 736. Bleiknopf-Zeiger.

Stabes angebracht, während der vor dem Schirm befindliche Handgriff „H" mittels der Schrauben „S 1" und „S 2" je nach Größe des

verwendeten Durchleuchtungsschirmes und der Lage des zu untersuchenden Teiles verstellt werden kann. Man kann auch den mit Bleiknopf versehenen Stab ohne Handgriff dem Patienten in die Hand geben und ihn selbst den Knopf auf die schmerzhafte Stelle drücken lassen.

2. Für Aufnahmen.

Um die unbelichteten photographischen Platten im Röntgenraum aufbewahren zu können, was besonders bei großem Betrieb sich als sehr zweckmäßig erwies, hat man sogenannte

Bleikisten

hergestellt. Es sind dies Holztruhen, deren Wände, Boden und Deckel innen mit dickem Blei beschlagen sind, derart, daß an keiner Stelle Röntgenstrahlen ins Innere gelangen können. Der Kasten hat je eine Abteilung für belichtete und unbelichtete Platten. Er soll natürlich nicht zur Lagerung größerer Plattenmengen dienen — diese sind an ferngelegenem Orte aufzubewahren — sondern nur für die etwa während eines Tages benötigten.

Bei direkten Aufnahmen — also ohne Verstärkungsschirm — werden die Platten vielfach in

„Einzelpackung"

gebraucht (die photographische Platte ist in zwei lichtdichte Papiere eingeschlagen). Wird „Dutzendpakkung" benützt, so legt man die Platte entweder in zwei ineinandergreifende Taschen aus dünner schwarzer Pappe, oder in einfache

Aufnahmekassetten.

Eine sehr praktische Form der letzteren ist die von Grashey angegebene. Sie unterscheidet sich von anderen Konstruktionen dadurch, daß der Deckel aus lichtdichtem Papier, das leicht ausgewechselt werden kann, hergestellt ist. Es ist somit nur eine äußerst dünne Schicht zwischen Patient und photographischer Platte vorhanden (s. Fig. 737).

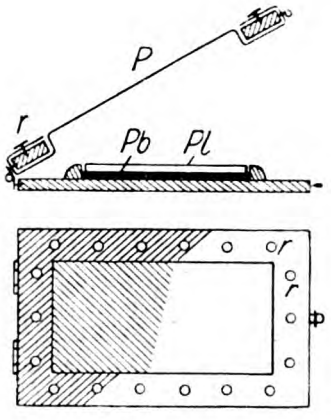


Fig. 737.
Aufnahmekassette nach Grashey. *P* schwarzes Papier, *Pb* Bleiblech, *Pl* Platte, *r*, *r* Reißnägel.

Wird ein Verstärkungsschirm verwendet, so muß dafür gesorgt werden, daß er möglichst dicht an die Emulsion der photographischen Platte angepreßt wird. Zu diesem Zweck sind besondere Verstärkungsschirm-Kassetten hergestellt worden; die von mir angegebene, in Fig. 738 abgebildete, ist ähnlich wie ein photographischer Kopierrahmen konstruiert, jedoch mit dem Unterschied, daß statt des Glases ein dünner, undurchsichtiger Karton verwendet wird. Die Platte wird in den lichtdichten Rahmen zweckmäßig so eingelegt, daß die Glasseite dem Karton der Kassette anliegt. Auf die Emulsion wird die Schichtseite des Verstärkungsschirmes gelegt, und hierauf der Verschlußdeckel in den Rahmen eingesetzt. Der Deckel ist auf einer Seite mit einer Metallplatte, auf der anderen mit zwei Druckfedern versehen

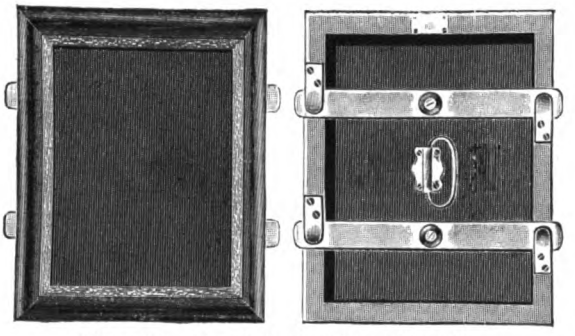


Fig. 738. Verstärkungsschirm-Kassette.

und wird ähnlich wie der Deckel eines Kopierrahmens gegen Verstärkungsschirm und Platte angedrückt. Bei der Aufnahme wird somit erst die Glasplatte und dann der Verstärkungsschirm von den Röntgenstrahlen getroffen. Diese Anordnung ist im allgemeinen der früher gebräuchlichen umgekehrten vorzuziehen, weil bei ihr der biegsame Schirm zwischen zwei starre ebene Flächen gepreßt wird — einerseits die photographische Platte, andererseits die Metallplatte des Deckels — und dadurch an allen Stellen dicht anliegt. Besonders zu beachten ist, daß beim Einlegen der Platte sowohl diese als auch der Verstärkungsschirm sorgfältig mittels eines breiten, weichen Pinsels abgestaubt werden, da jedes Staubteilchen einen kleinen Flecken im Bild verursacht.

Fig. 739 zeigt eine Metall-Kassette (Reiniger) ähnlicher Konstruktion. Sie kann natürlich viel flacher als eine Holzkassette und mit wesentlich schmäleren Rändern ausgeführt werden; letzteres ist für manche Zwecke (z. B. Lungenspitzenaufnahmen) erwünscht. Um die unter Umständen beim Einschalten des Apparates von der Metallkassette zum Patienten übergehenden, schwachen elektrischen Ent-

ladungen zu vermeiden, welche unwillkürliche Bewegungen des Patienten verursachen können, legt man zweckmäßig auf die Metall-Kasette eine strahlendurchlässige, isolierende Zwischenlage.

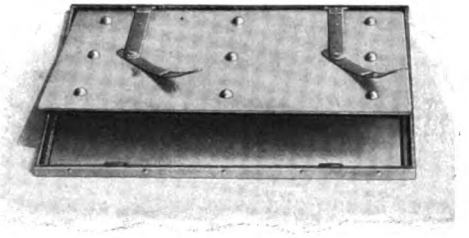


Fig. 739. Metall-Kassette.

Die beschriebenen und ähnliche Kassetten, bei welchen Platte und Schirm durch Federdruck aneinandergepreßt werden, sind nur für eine Plattengröße zu verwenden, sollen also nicht mit Einlagen für kleinere Formate versehen werden. Bei Benützung größerer Schirme mit kleinen Platten könnten sonst die Plattenkanten die Fläche des Verstärkungsschirmes leicht beschädigen.

Verstärkungsschirme (Folien).

Bd. I, S. 37 wurde bereits ausgeführt, daß die Verstärkungsschirme aus einer ebenen Unterlage (Karton, Celluloid etc.) bestehen, auf welcher sich eine Schicht von „wolframsaurem Calcium" befindet. Das letztere leuchtet beim Auftreffen von Röntgenstrahlen blau; durch blaues Licht wird die photographische Platte sehr stark beeinflußt. Damit die Details des auf dem Verstärkungsschirm auftretenden Bildes sich auf die photographische Platte gut übertragen, ist es unbedingt erforderlich, daß die beiden Schichten ganz dicht aneinander liegen. Zu diesem Zweck werden die oben erwähnten Verstärkungsschirm-Kassetten angewandt. Die ersten praktisch brauchbaren Verstärkungsschirme dürften wohl von Levy (Verhandl. d. Ges. deutscher Naturf. u. Ärzte 1897, S. 177) im Jahre 1897 hergestellt worden sein, welcher auch schon doppelseitig begossene Platten und Films mit zwei Verstärkungsschirmen benützte (D. R. Patent No. 106576). Sowohl die Leuchtkraft als besonders auch die Feinheit des Kornes der Verstärkungsschirme wurden wesentlich verbessert durch Gehler, wodurch ihre Anwendung eine viel größere wurde. Nach Gehler haben eine Reihe anderer Firmen (Radiologie, Reiniger, Seifert, Heyden, Kahlbaum, Kodak usw.) gleichfalls sehr gute Verstärkungsschirme hergestellt.

Welche Bedeutung die Verstärkungsschirme für die Erzeugung von Röntgenogrammen besitzen, habe ich (Röntgen-Taschenbuch Bd. 4, S. 124, 1912) wie folgt gekennzeichnet:

„Durch die außerordentliche Verbesserung, welche die Verstärkungsschirme in neuerer Zeit sowohl in bezug auf Empfindlichkeit als Feinheit des Kornes erfahren haben, ist man heute imstande, wesentlich schärfere Verstärkungsschirmaufnahmen zu erhalten als früher; allein derartige Aufnahmen können auch heute noch nicht als Präzisionsaufnahmen bezeichnet werden. Man braucht, um sich davon zu überzeugen, nur eine verstärkungsschirmlose Präzisionsaufnahme mit einer guten Verstärkungsschirmaufnahme zu vergleichen. Trotzdem kann man unter Bedingungen mit guten Verstärkungsschirmen von gewissen Organen bessere Bilder erhalten als ohne Verstärkungsschirm, und zwar aus folgendem Grunde: Für bestimmte, schwieriger aufzunehmende Objekte müssen die Expositionszeiten ohne Verstärkungsschirm so groß gewählt werden, daß hierfür Präzisionsröhren sich nicht mehr verwenden lassen, und man ist gezwungen, weniger scharf zeichnende Röhren zu benützen. Bedient man sich aber eines Verstärkungsschirms, so wird einerseits allerdings durch diesen die Schärfe des Bildes verschlechtert; andererseits aber kann man dann infolge der geringeren Expositionszeit statt der weniger scharf zeichnenden Röhre eine Präzisionsröhre verwenden und die hierdurch erzielte größere Schärfe kann bei gewissen Aufnahmen von größerer Wichtigkeit sein, als die Verschlechterung des Bildes durch einen guten Verstärkungsschirm; außerdem kann man — gleichfalls wieder wegen der kürzeren Expositionszeit — weichere Röhren verwenden und dadurch kontrastreichere Bilder erhalten.

Wenn man den Verstärkungsschirm derart verbessern könnte, daß man den Präzisionsaufnahmen gleichwertige Verstärkungsschirmaufnahmen erhalten würde, so wäre dieses für die weitere Entwicklung der Röntgendiagnose von großer Bedeutung.“

Erwähnt möge noch werden, daß man in besonderen Fällen mit Vorteil das sogenannte

Köhlersche Doppelplattenverfahren

benutzt, das darin besteht, auf zwei Platten, die mit ihrer Schichtseite aufeinander liegen, die Aufnahme vorzunehmen. Hierdurch wird der aufzunehmende Körperteil zweimal dargestellt, da die Absorption der Röntgenstrahlen in der zuerst getroffenen photographischen Platte im allgemeinen nur sehr gering ist. Etwaige, infolge von Plattenfehlern hervorgerufene Irrtümer in der Diagnose können beim Vergleich beider Platten leicht ausgeschlossen werden. Außerdem werden bei diesem Verfahren, im Falle einer Unterexposition, durch Übereinanderlegen der entwickelten Platten bei der Besichtigung wesentlich dichtere Bilder erhalten. Besonders bei Aufnahme von Konkrementen hat sich dieses Verfahren gut bewährt.

B. Alexander (Verhandl. d. Deutsch. Röntgen-Ges., Bd. II, S. 74, 1906, und Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstr., Bd. X, S. 46, 1906) hat in den von ihm zuerst hergestellten

plastischen Röntgenbildern

nicht nur eine künstlich hervorgerufene, außerordentlich schön wirkende Körperlichkeit erhalten, sondern, was vielleicht praktisch wichtiger ist, in manchen Fällen auch einen größeren Kontrast einzelner Teile des Bildes. Diese künstlich erzeugte Plastik darf nicht verwechselt werden mit der im einfachen Röntgenbild unter Umständen vorhandenen natürlichen Plastik (s. Bd. I, S. 43). Die Herstellung der erstgenannten Alexanderschen plastischen Röntgenogramme geschieht in folgender Weise:

Von der Originalplatte (I) wird eine Plattenkopie (II) gemacht. Beide Platten werden hierauf — nicht mit den Schicht-, sondern mit den Glasseiten — so aufeinandergelegt und aneinanderbefestigt, daß sich die Konturen bei senkrecht auffallendem Licht möglichst gut decken. Von dieser Doppelplatte wird auf einer dritten Platte (III) eine Kopie — das plastische Bild — hergestellt, und zwar derart, daß die Schichtseite von II auf die Schichtseite von III zu liegen kommt. Das Kopieren geschieht hierbei nun so, daß die Lichtquelle nicht über der Mitte der Platten, sondern etwas seitlich davon angebracht ist.

Will man eine Papierkopie herstellen, so ist erst von der III. Platte eine Plattenkopie (IV) zu machen, und von dieser vierten erst die Papierkopie.

Fig. 5 von Tafel XXIX stellt eine Verkleinerung eines auf diese Weise erhaltenen plastischen Hand-Röntgenogrammes dar, das mir in liebenswürdiger Weise von dem inzwischen leider verstorbenen Dozenten Béla Alexander überlassen wurde.

Die spezielle Aufnahmetechnik, die Lagerung der einzelnen Organe, sowie eine Reihe von Spezialvorrichtungen sind in den einzelnen Abschnitten des Lehrbuches bereits behandelt worden; über die photographische Technik wird in einem besonderen Kapitel berichtet. Ferner wurde in dem Kapitel „über Fehlerquellen“ (s. Bd. II, S. 790) schon auf verschiedene wichtige Faktoren, welche bei der Herstellung von Röntgenogrammen zu beachten sind, aufmerksam gemacht; hier seien deshalb nur noch einige kurze Bemerkungen gemacht.

Es ist zu beachten, daß das Röntgenogramm — im Gegensatz zu dem vom Fachphotographen hergestellten Photogramm, das meist „weich“ sein soll — möglichst „hart“ ausfällt. Es liegt in der Natur des Röntgenogramms, daß es nicht nur sehr scharf, sondern auch mög-

lichst kontrastreich sei; dann können wir unter Umständen noch Details erkennen, die uns bei weniger kontrastreichen Röntgenogrammen verloren gehen.

Da in größeren Röntgenlaboratorien sehr viele und teilweise auch große Platten zu entwickeln sind, wendet man dort häufig zur Vereinfachung des Betriebes mechanisch, elektrisch oder hydraulisch bewegte

Schaukelapparate

an. Fig. 740 zeigt einen solchen, der durch einen kleinen Elektromotor betrieben wird (Reiniger).

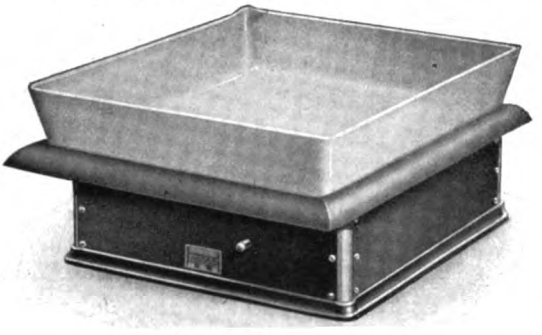


Fig. 740. Elektrischer Entwicklungsapparat.

Bezüglich der

Dunkelkammerlampe

möchte ich erwähnen, daß ich wiederholt, und zwar ganz besonders bei solchen angehenden Röntgenologen, die sich schon viel und auch erfolgreich mit Amateur-Photographie beschäftigt hatten, gefunden habe, daß der Dunkelkammerbeleuchtung viel zu geringe Aufmerksamkeit geschenkt wird. Zur Erzeugung einwandfreier Röntgenogramme ist eine gute Dunkelkammerlampe weit wichtiger als zur Herstellung von Amateur-Photographien. Denn während für diese stärkste Kontraste des Bildes im allgemeinen von weniger großer Bedeutung sind, sind sie, wie schon bemerkt, für erstere von außerordentlicher Wichtigkeit. Durch eine schlechte Dunkelkammerbeleuchtung kann aber der Kontrast stark leiden, ganz besonders dann, wenn es darauf ankommt, nur sehr geringe Dichtigkeitsunterschiede darzustellen.

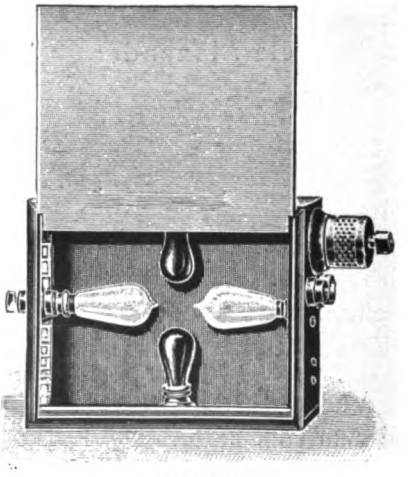


Fig. 741.
Dunkelkammerlampe nach Baer.

Die Dunkelkammerlampe soll einerseits kein aktinisches Licht abgeben, andererseits soll sie aber auch genügende Helligkeit liefern,

um die notwendigen Handhabungen ausführen zu können. Diesen beiden Bedingungen wird am besten genügt, wenn man, wie dies G. Baer im Jahre 1912 angegeben hat, eine große leuchtende Fläche von geringer spezifischer Helligkeit, d. h. geringer Helligkeit pro Flächeneinheit, benützt. Selbstverständlich ist, daß man nur rotes Licht verwendet, das spektroskopisch geprüft ist. Die Baersche Dunkelkammerlampe (s. Fig. 741) besteht aus einem Kasten, dessen Vorderwand eine Beinglasscheibe von 30×40 cm Größe bildet. Letztere wird beleuchtet entweder von rubinroten oder von weißen Lampen, je nachdem ein Schalter links oder rechts des Kastens benützt wird. Die Dunkelkammerlampe ist somit auch als einfacher Betrachtungskasten zu verwenden. Mittels eines Dunkelschalters, der seitlich angebracht ist, kann sowohl das rote als das weiße Licht nach Wunsch in seiner Helligkeit verändert werden.

3. Für Durchleuchtungen und Aufnahmen.

Wechselrahmen.

Um rasch nach der Durchleuchtung die Aufnahme eines Körperteils vornehmen zu können, hat Weiser einen einfachen Wechselrahmen angegeben (Heyden), bei welchem, wie Fig. 742 zeigt, der Durchleuchtungsschirm drehbar angeordnet ist und mittels eines einzigen Griffes mit der photographischen Platte vertauscht werden kann.

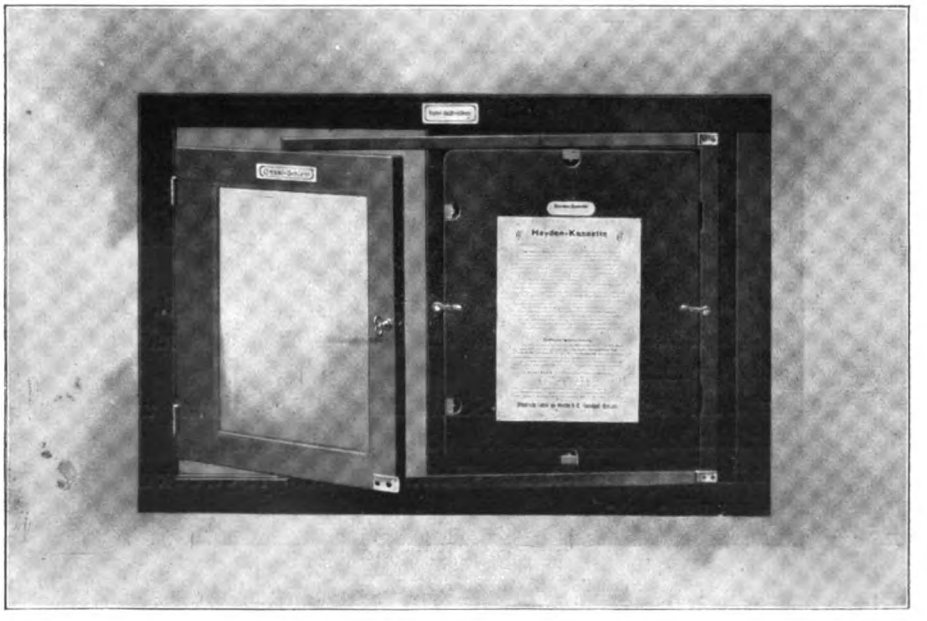


Fig. 742. Wechselrahmen nach Weiser.

Für die außerordentlich wichtige Untersuchung des gesamten menschlichen Verdauungstraktus verwendete erstmals Rieder im Jahre 1904 ein

Kontrastmittel.

Dieses wird entweder als Kontrast-Mahlzeit oder als Kontrast-Einlauf gegeben. Über die hauptsächlich benützten Kontrastmittel, wie Wismuthcarbonat, Bariumsulfat, Zirkonoxyd (Kontrastin) sowie über deren Verabreichung wurde bereits in diesem Bande S. 66 berichtet.

Von Tornai, Cohn, Kästle wurden sog. Schwimm- und Sinkkapseln zu verschiedenen Zwecken verabreicht. Näheres hierüber ist aus den in der Literaturübersicht angegebenen Arbeiten zu ersehen. Die Kapseln haben eine im Magensaft unlösliche Hülle und enthalten eines der genannten Kontrastmittel. Die schwimmende Kapsel ist so gefüllt, daß sie leichter als die Magenflüssigkeit ist, also auf dieser schwimmt, während die sinkende bei gleichem Volumen eine schwerere Füllung enthält, so daß sie untersinkt.

Die Kontrastin-Gelatinestäbchen (Fistelstäbchen) nach Holzknecht & Lilienfeld bezwecken, die Ursprünge von Fistelgängen mittels vereinfachter und verbesserter Füllungstechnik zur röntgenologischen Darstellung zu bringen. Sie bestehen aus Zirkonoxyd, Gelatine und Xeroform (s. Berl. klin. Woch. 1916, Nr. 16 u. Jahreskurse f. ärztl. Fortb. Aug. 1916).

4. Schutzmittel.

Als Schutz gegen Röntgenstrahlung

dienen außer den S. 914ff. schon besprochenen Schutzwänden und Schutzgehäusen:

Gewöhnliches Bleiblech, 0,5 bis 8 mm dick, das zweckmäßig mit einer Lackfarbe überzogen ist, die beim Biegen des Bleches nicht abspringt.

Leukoplast-Bleifolie (Beiersdorf & Co.), d. i. ein Bleiblech, das auf einer Seite mit Leukoplast versehen ist, sodaß es leicht auf die Haut geklebt werden kann.

Bleigummiplatte, deren Schutzmasse aus Gummi und Salzen von Schwermetallen, insbesondere von Blei, besteht.

Bleigummi-Handschuhe, -Schürze, -Kopfbedeckung, Bleiglas-Schutzbrille etc.

Für Wände, Boden- und Deckenbelag die

Kämpe-Loreyschen Barytstein-Platten,

welche aus einer Mischung von Schwerspatpulver und Zement gepresst werden (Größe 50 × 25 × 6 cm). Die einzelnen Platten sind mit Nuten

und Falzen versehen, so daß sie mittels Zementmörtel strahlendicht miteinander verbunden werden können.

Als Schutz gegen elektrische Entladungen

werden Hartgummiplatten, Glasplatten oder am besten schmiegsamer Paragummi verwendet.

Die mit dem Patienten in Berührung kommenden oder in seiner nächsten Nähe befindlichen metallischen Gegenstände des Röntgen-Zimmers sollen leitend mit der Erde verbunden werden. (Erdleitung.) Dies geschieht zweckmäßig in der Weise, daß ein Metalldraht, der am einen Ende mit einem Wasserleitungsrohr verlötet ist, etwa längs der Wandleisten am Boden oder an der Decke des Zimmers verlegt wird. An verschiedenen Stellen dieses Drahtes werden Ösen angebracht, von welchen dünne Metalldrähte oder Spiralkabel zu dem abzuleitenden Gegenstand geführt werden können.

Bei größerem Röntgenbetrieb, ganz besonders bei therapeutischen Bestrahlungen mit harten Röhren, wird die Luft des Röntgen-Raumes derart verschlechtert, daß der Aufenthalt in diesem Raume gesundheitsschädlich werden kann. Man hat deshalb für

Erneuerung der Luft

Sorge zu tragen, was am einfachsten mittels eines kräftigen, elektrischen oder hydraulischen Ventilators geschieht, welcher von Zeit zu Zeit einzuschalten ist. Selbstverständlich muß dann auch dafür gesorgt werden, daß frische Luft zuströmen kann. Bei Anwendung der von mir angegebenen, S. 915 beschriebenen Vorrichtung zur therapeutischen Bestrahlung ist diese Maßnahme nicht nötig.

5. Verschiedene Utensilien,

die häufig gebraucht werden, seien noch erwähnt:

Metallmarken, welche zum Kennzeichnen der linken oder rechten Körperseite sowie gewisser Körperstellen, z. B. des Nabels, dienen. — Leuchtmarken nach Holzknecht u. Jahoda, die an Schalter, Handgeräten usw. angeklebt werden, um diese auch im Dunkeln rasch zu finden. Sie sind aus phosphoreszierenden Substanzen hergestellt, die auf Karton aufgetragen sind und werden durch die Raumbeleuchtung genügend angeregt, um hernach im Dunkeln zu leuchten. — Glasschreibstifte zum Zeichnen des Schirmbildes auf die vor dem Durchleuchtungsschirm befindliche Bleiglasplatte, — Pauspapier, — Höllenstein- bzw. Tintenstift, um auf der Haut längere Zeit haftende

Zeichen anzubringen, — Seiden- oder Guttaperchapapier als hygienische Unterlage für den aufzunehmenden Körperteil des Patienten, ferner Leukoplast, Benzin, Alkohol, Verbandmaterial usw.

IV. Komplette Apparate.

In den meisten Röntgeninstituten sind durchaus nicht alle Apparate zu finden, welche in dem vorstehend geschilderten „Universal-Röntgenlaboratorium" beschrieben wurden. Es kann hier nicht näher auf deren Auswahl eingegangen werden; sie hängt von örtlichen Verhältnissen, der Art und Größe des Betriebs, den verfügbaren Mitteln etc. ab. Nur auf eine Kombination sei noch kurz hingewiesen, die besonders während des Krieges große Bedeutung erlangte, nämlich auf

die transportablen Röntgenapparate.

Eine besonders einfache, von mir angegebene Form eines solchen zeigt Fig. 743. Induktor, Unterbrecher, Ampèremeter, Schalter sind

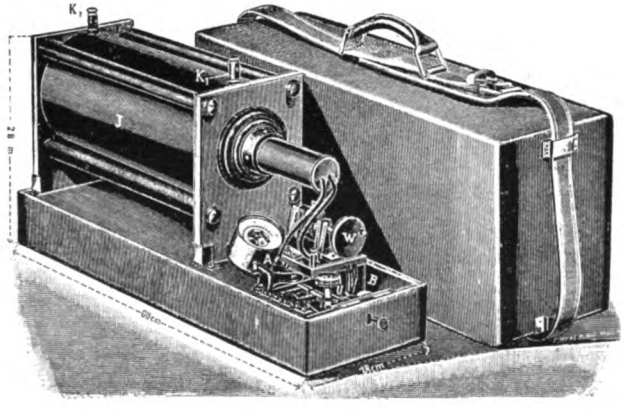


Fig. 743.
Transportabler Röntgenapparat in Kastenform nach Rosenthal.

auf einem Holzuntersatz montiert, der mit einem Verschlußkasten und Tragriemen versehen ist. Als Stromquelle dient entweder ein transportabler Akkumulator oder, unter Zwischenschaltung eines geeigneten Unterbrechers, ein Starkstromanschluß.

Fig. 744 gibt eine transportable Einrichtung nach Lorey (Seifert) wieder, die aus 3 aufeinander gesetzten Kästen besteht, welche je mit 2 Handgriffen versehen sind, sodaß sie von 2 Personen leicht trans-

portiert werden können. Der oberste Kasten enthält den Induktor, der mittlere die Regulier- und Schaltvorrichtungen, der unterste einen Eresco-Stromschließer.

Fig. 745 und 746 stellen einen Feldröntgenwagen (Siemens & Halske) dar, bei welchem die einzelnen Bestandteile der Röntgeneinrichtung innerhalb eines von Pferden gezogenen Wagens untergebracht sind und bei Bedarf rasch herausgenommen werden können, um in einem Zelt oder einem benachbarten Hause aufgestellt zu werden. Im Innern des

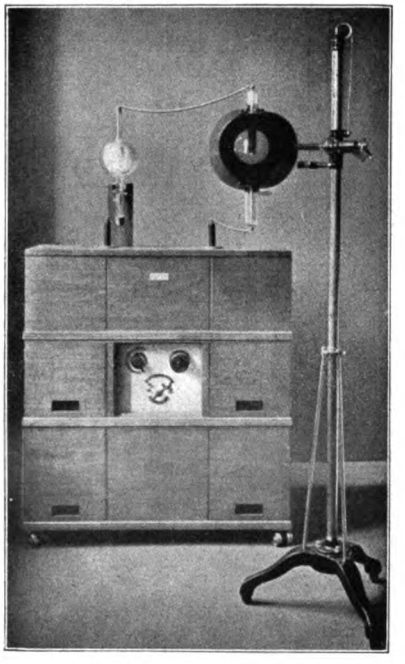


Fig. 744.
Transportabler Röntgenapparat nach Lorey.

Wagens ist ein Benzinmotor mit Dynamo fest montiert. Von letzterer wird mittels eines aufrollbaren Kabels der Strom zum Induktor geleitet. Auch eine Dunkelkammer-Einrichtung ist vorgesehen.

Fig. 747 und 748 (Veifa) zeigen ein Feldröntgenautomobil, dessen Benzinmotor auch zum Antrieb einer Dynamo benützt werden kann. Diese liefert den Strom für den Röntgenapparat. Die einzelnen Teile sind in verschiedenen Kisten verpackt (Fig. 747) und können in der durch Fig. 748 dargestellten Weise für die Aufnahme bzw. Durchleuchtung benützt werden. (F. Dessauer, Röntgen-Taschenbuch, Bd. 7, S. 1, 1915.)

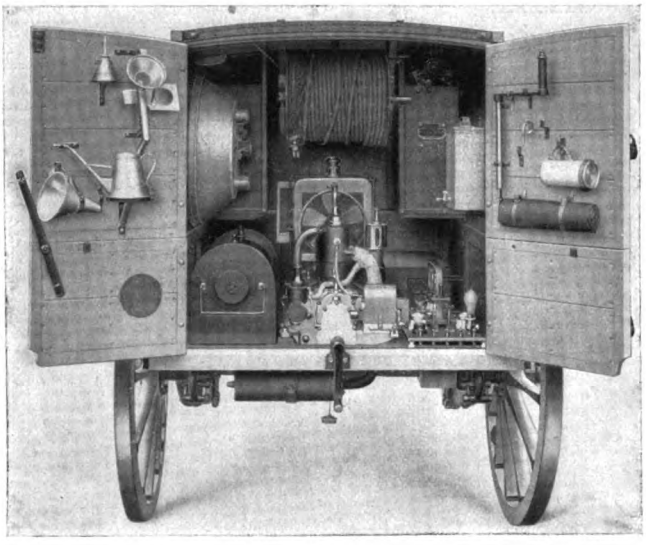


Fig. 745.

Fig. 746.

Feldröntgenwagen von Siemens und Halske.

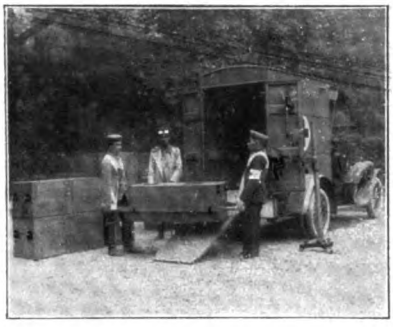


Fig. 747.

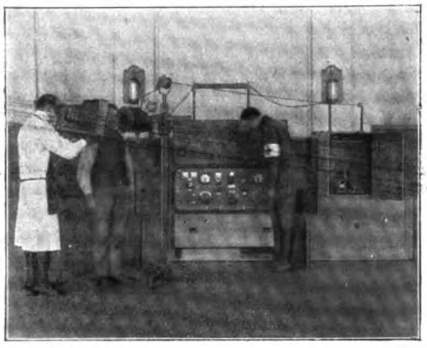


Fig. 748.

Feldröntgen-Automobil von Veifa.

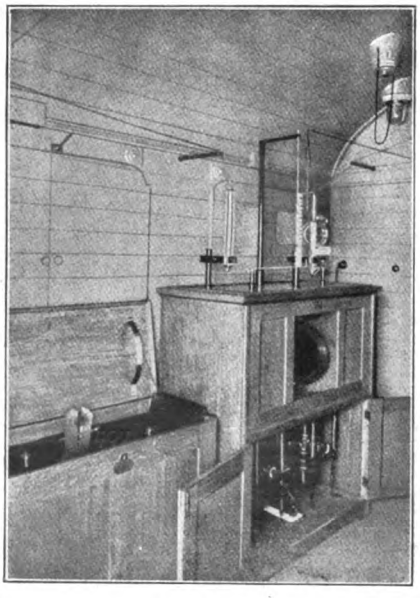


Fig. 749.
Röntgenapparat mit Röhrenkiste im Lazarettzug.

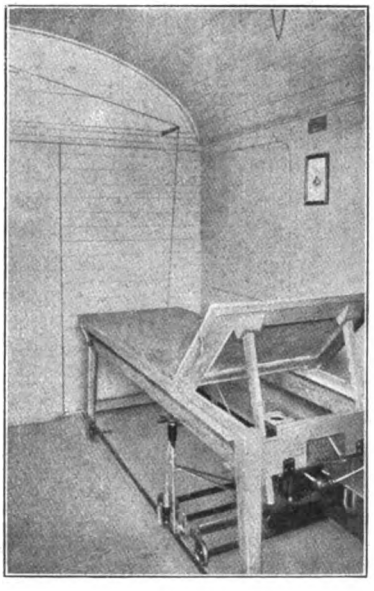


Fig. 750.
Trochoskop im Lazarettzug.

Endlich zeigen Fig. 749, 750 und 751 eine in einem Lazarettzug neben dem Operationsraum untergebrachte Röntgeneinrichtung (Polyphos) (s. A. Wertheimer, Röntgen-Taschenbuch, Bd. 7, S. 98, 1915). Der Betriebsstrom wird von der die Beleuchtung des Zuges versorgenden Dynamo geliefert. Zwei Quecksilber-Strahlunterbrecher,

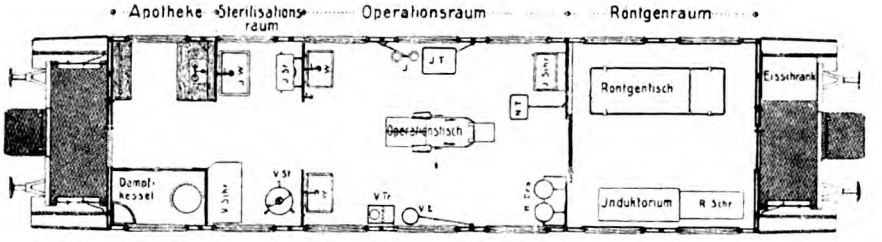


Fig. 751.
Anordnung des Operations- und Röntgenraums im Lazarettzug.

von welchen der eine als Reserve dient, sind unterhalb des Induktorgehäuses federnd aufgehängt. Neben dem Röntgenapparat ist eine besonders konstruierte Kiste für drei Röhren und gegenüber ein Durchleuchtungstisch mit Trochoskop angeordnet. Auch für vertikale Durchleuchtung ist eine einfache (in der Figur nicht abgebildete) Vorrichtung vorgesehen.

Literatur

(soweit nicht schon im Text angegeben).

Albers-Schönberg, H., „Eine Kompressionsblende zum Nachweis von Nierensteinen." Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. 5, S. 301, 1902.

Barret, „Le réglage à distance des ampoules." Archives d'électr. medicale 25. VI. 1905.

Boas, H., Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. II, S. 115, 1899.

Boas, H., Verhandl. d. Deutsch. physikal. Ges., Bd. 13, S. 651, 1911.

Bréton, I. L., „Rayons cathodiques et rayons X", Paris 1897.

Caldwell, E. W., Amerik. Pat. Nr. 677498.

Cohn, M., „Zur Untersuchung des Magens mit Wismuthkapseln." Berl. klin. Wochenschrift 1910, S. 1780.

Déguisne, C., „Die Entladung beim Blitzinduktor." Physik. Zeitschr. Bd. 15, S. 630, 1914, und „Über Beobachtungen am Röntgen-Transformator." Physik. Zeitschr. Bd. 17, S. 106, 1916.

Dessauer, F., Arch. f. physikal. Med. u. med. Technik, Bd. 5, S. 30, 1909.

Glocker, R., „Eine neue Methode zur Intensitäts- und Härtebestimmung von Röntgenstrahlen.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, Bd. 24, S. 91, 1916.

Glocker, R., „Über die Abhängigkeit der Sekundärstrahlungs-Emissionskoeffizienten von der Wellenlänge der erregenden Röntgenstrahlen.“ Physik. Zeitschr. Bd. 17, S. 488, 1916.

Glocker, R., „Eine neue Methode zur Untersuchung der Zusammensetzung von Röntgenstrahlungen.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., Bd. 26, S. 363, 1919.

Grashey, R., „Röntgenoskopische Operationen im taghellen Raum.“ Beiträge zur klinischen Chirurgie, Bd. 70, S. 175, 1910.

Holzknecht, G., u. Robinsohn, J., „Das Trochoskop, ein radiologischer Universaltisch.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. VIII, S. 172, 1905.

Holzknecht, G., „Über Regulierung der Röhre während des Betriebes.“ Verh. des 6. Deutschen Röntgenkongr. 1910, S. 114.

Holzknecht, G., Durchleuchtungskompressorium mit Bucky-Effekt, Münch. med. Wochenschr. 1913, Nr. 49.

Holzknecht, G., u. Sommer, O., „Das Schwebekästchen für Aufnahme und Therapie.“ Zentralbl. f. Röntgenstr. V, S. 11, 1914.

Holzknecht, G., „Fremdkörperoperation unter direkter Leitung des Röntgenlichtes und ihr technischer Ausbau.“ Jahreskurse für ärztliche Fortbildung, August 1916.

Kästle, C., „Versuch einer neuen Methode zur Prüfung der Verweildauer von Flüssigkeiten im Magen.“ Münchner med. Wochenschr. 1910, S. 1837.

Koch, F. J., Verhandl. d. Deutsch. Röntgenges., Bd. I, S. 153, 1905.

Koch, F. J., Verh. d. Deutsch. Röntgenges., Bd. 4, S. 106, 1908.

Koch, F. J. „Die Röntgenröhre nach Dr. I. E. Lilienfeld.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., Bd. 23, 1915, S. 2.

Koch, F. J., „Das Glühkathodenventil und seine Anwendung in der Röntgen-Technik.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr. Bd. 23, S. 8, 1915.

Krause, P., „Über eine neue Tiefenbestrahlung.“ Verh. d. Deutsch. Röntgenges. IX, S. 68, 1913.

Kröncke, H., „Über die Messung der Intensität und Härte der Röntgenstrahlen.“ (Diss. Göttingen 1913, Leipzig, J. A. Barth.)

Lilienfeld, I. E., D.R.P. Nr. 256534 vom 11. Oktober 1911.

Lilienfeld, I. E., u. Rosenthal, W. J., „Eine Röntgenröhre von beliebig und momentan einstellbarem, vom Vacuum unabhängigem Härtegrad.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., Bd. 18, S. 256, 1912.

Lilienfeld, I. E., „Die Elektrizitätsleitung im extremen Vacuum.“ Annal. d. Physik, Bd. 32, S. 673, 1910, und Bd. 43, S. 24, 1914.

Lilienfeld, I. E., „Erwiderung auf die Veröffentlichung von Dr. W. D. Coolidge: Röntgenröhren mit reiner Elektronenentladung.“ Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., Bd. 22, S. 418, 1914.

Lilienfeld, I. E., „Die Hochvacuum-Röntgenröhre.“ Jahrb. der Radioaktivität und Elektronik 16, S. 105—185, 1919.

Lindemann, C. L., und F. A., „Über ein neues für Röntgenstrahlen durchlässiges Glas.“ Zeitschr. für Röntgenkunde 13, S. 141, 1911.

Ludewig, P., „Über die sogenannten elektrolytischen Stromunterbrecher.“ Dissertation Göttingen 1907. Ferner: „Zur Theorie des Wehnelt-Unterbrechers.“ Annalen der Physik (4), Bd. 28, S. 175, 1909, und: „Der physikalische Vorgang in den ‚elektrolytischen‘ Unterbrechern.“ Röntgentaschenb. VI, S. 44, 1914.

Moritz, F., „Eine Methode, um beim Röntgenverfahren aus dem Schattenbilde eines Gegenstandes dessen wahre Größe zu ermitteln (Orthodiagraphie) und die exakte Bestimmung der Herzgröße nach diesem Verfahren." Münch. med. Wochenschr. 1900, Nr. 29, und „Zur Geschichte und Technik der Orthodiagraphie." Münch. med. Wochenschr. 1908, Nr. 13.

Norton und Lawrence, Science, Bd. V, S. 496.

Rieder, H., „Radiologische Untersuchungen des Magens und Darms beim lebenden Menschen." Münchner med. Wochenschr. 1904, Nr. 35.

Röntgen, W. C., „Über eine neue Art von Strahlen I.", „Über eine neue Art von Strahlen II.", „Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen." Annalen der Physik **64**, S. 17, 1898.

Rosenthal, J., „Über eine Röntgenröhre zur Erzielung besonders kontrastreicher Bilder." Physikal.-med. Monatshefte 1905, S. 339.

Rosenthal, J., „Über einige Neuerungen am Röntgen-Instrumentarium." Verhandl. d. Deutschen Röntgen-Ges., Bd. 1, S. 141, 1905.

Rosenthal, J., „Über einen neuen Röntgenapparat und einige mit diesem erzielte Resultate." Münchner med. Wochenschr. 1907, Nr. 42.

Rosenthal, J., „Über die Bedeutung der Kurvenform des Sekundärstromes für die praktische Röntgenologie." Verh. der Deutschen Röntgen-Ges. **4**, S. 67, 1908 u. Zeitschr. f. Röntgenkunde **10**, S. 297, 1908.

Rosenthal, J., „Über Röntgenbilder." Verh. d. Deutsch. Röntgen-Ges. **4**, S. 141, 1908.

Rosenthal, J., „Einiges zur Frage der Strahlentiefen-Therapie." Münch. med. Wochenschr. 1914, S. 1058 ff.

Rosenthal, J., „Strahlentherapie mittels Ultradur-Röntgenstrahlen." Deutsche med. Wochenschr. 1915, Nr. 21.

Rosenthal, W. J., „Die Lilienfeldsche Röntgenröhre." Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstr., Bd. 20, S. 448, 1913.

Seitz, W. „Über eine neue Röntgenröhre von konzentrischer Wirkung." Physik. Zeitschr. **10**, S. 830, 1909.

Sellheim, H., „Neue Wege zur Steigerung der zerstörenden Wirkung der Röntgenstrahlen auf tiefliegende Geschwülste." Münchner med. Wochenschr. 1913, Nr. 41.

Simon, H. Th., „Über einen neuen Flüssigkeitsunterbrecher." Annalen d. Physik, Bd. **68**, S. 860, 1899.

Tesla, N., Elektrotechn. Zeitschr. **19**, S. 671, 1898.

Tornai, J., „Beiträge zur Röntgen-Diagnostik d. Stenosen d. Verdauungstraktus." Berl. klin. Wochenschr. 1910, Nr. 29.

Villard, P., Archives d'Electricité médicale, Bd. 15, S. 922, 1907.

Wehnelt, A., „Ein elektrolytischer Stromunterbrecher." Annalen der Physik, Bd. **68**, S. 233, 1899.

Wehnelt, A., „Die Erzeugung sehr weicher Röntgenstrahlen." Ber. d. Phys. Med. Soz. Erlangen 1905, S. 312.

Wehnelt, A. „Über den Spannungsverlauf in Röntgenröhren." Annalen der Physik, Bd. 47, S. 1112, 1915.

Wertheimer, A., „Über Strom- und Spannungsverlauf (Charakteristik) an Röntgenröhren." (Dissert. Göttingen 1911, Leipzig, S. Hirzel.)

Wintz, H., „Eine automatische Regenerierung der Röntgenröhre." Münch. med. Wochenschr. 1916, S. 382.

Alphabetisches Sach-Verzeichnis.

Die Zahlen bezeichnen die Seiten, ein * deutet auf eine Abbildung im Text, T auf eine beigeheftete Tafel.

A.

Abschaltwiderstand, Schaltungsschema 846*.
Absorption der Röntgenstrahlen 24. 26.
—, selektive der Elemente 27. 29. 30*.
Albers-Schönbergsche Kompressionsblende 931*. 932.
— — —, Kastenblende dazu 932*.
Alexandersche plastische Röntgenogramme 991.
Alpha-Röhre nach Rosenthal 872*.
Aluminium, selektive Absorption 31.
Ampèremeter 911.
Anodenstrahlen 15.
Anregungsspannung 14.
Anschluß, bipolarer 869.
—, unipolarer 869.
Antikathode 16.
—, Einbrennen ders. 22.
—, Erhitzung 897.
—, metallarme 871.
Antikathodenstrahlen 19. 884.
Äonen-Röhre nach Lilienfeld 907*.
Apex-Apparatur 823.
—-Unterbrecher 823.
Apparate, unterbrecherlose, ohne mechanischen Hochspannungsgleichrichter 860.
— —, mit mechanischem Hochspannungsgleichrichter 851.
Astralschirm 37. 979.
Ätherwellen 13.
Atombau 3.
—gruppierung 26.
Aufnahmen, elektrische Regulierung 894.
—, Hilfsmittel 987.
— und Durchleuchtungen, Hilfsmittel 993.
Aufnahmeblende, Buckysche 923*.
— — mit Lagerungsansätzen 925*.
— — Plattenunterlage 924*.
—kassette nach Grashey 987*.
—stativ, Köhlersches 928, 929*.
— —, Riedersches 584*. 928. 929*.
Aufnahme- und Durchleuchtungstisch mit Kompressionsblende und Trochoskop 933*.

B.

Bandkompressorium nach Hirschmann 936*.
— nach Kästle 936*. 937*.
Bariumplatinzyanür 37. 39.
Bariumsulfat 994.
Baersche Dunkelkammerlampe 992*. 993.
Barytstein-Platten, Kämpe-Loreysche 994.
Bauer-Regulierung 891*.
— —, Pumpe dazu 891*.
Bauersches Luftventil 888. 891*.
— Qualimeter 967*.
Belichtungszeiten 5.
Benoistscher Härtemesser 958. 959*.
— — mit Leuchtschirm, Tubus u. Bleischutzscheibe 959*.
Benoist-Walterscher Härtemesser 959.
Bergoniés elektrostatisches Hochspannungsvoltmeter 967.
Beschleunigungs-Röntgenstrahlen 908.
Bestrahlungskasten für Tiefentherapie 915*.
Beugungsbilder 5.
Bikathoden-Röhre 851*. 884. 885*.
— — mit luftgekühlter Antikathode 885*.
Bildschärfe 978.
Bioröntgenograph 950. 951*.
Bleiblech 994.
—glasplatten 979.
—glas-Schutzbrille 994.
—gummi-Handschuhe 994.
— —-Platte 994.
—kisten 987.
— —blende nach Albers-Schönberg-Walter 926*.
—knopfzeiger von Lenz 986*.
Blenden 922.
—-Röhre 883.
Blitz-Apparat 843.
—patrone 911.

Blitz-Röhre 882.
Blutgefäße, normale 882.
Braggsches Röntgenspektrometer 6*. 7*.
Bremsstrahlung 7. 13.
Buckyblende, bewegliche 923*.
— mit Lagerungsansätzen 925*.
—, Plattenunterlage 924*.

C.

Caldwell-Unterbrecher 827.
Chemische Veränderung durch Röntgenstrahlen 39.
Christenscher Halbwertschicht-Härtemesser 960*.
Chromometer nach Benoist 31.
Chromoradiometer von Holzknecht 968.
— von Sabouraud-Noiré 969.
— — —, Holzknecht-Skala dazu 969*.
Coolidge-Röhre 898*.
— —, Kathode und Antikathode 899*.
— —, Schaltungsschema 899*.

D.

Des Coudresscher Hochspannungs-Gleichrichter, Stromschema 852*.
Deviationsunterbrecher 825.
Dewarsche Flasche 878.
Diagnostik-Apparat, kleiner, für Coolidgeröhren mit Röhrenstativ 911*.
Diamant 25.
Dia-Transverter-Röntgeneinrichtung von Koch und Sterzel für diagnostische Zwecke 855*.
— — —, Stromschema 856*.
Distanzregulator nach Holzknecht 889*.
Dofok-Röhre mit Wasserkühlung 903*.
Doppelglühkathode der Dofok-Röhre 904*.
—kugelform 872*.
—plattenverfahren, Köhlersches 990.
—röhrenbetrieb 840.
—schlitzblende 922. 927.
—unterbrecher 879.
Drahtspule, Schema des Stromverlaufs 810*.
Drehspul-Milli-Ampèremeter 976.
Drosselröhren 849.
Dunkelkammerlampe nach Baer 992*. 993.
Durchlässigkeit der Körper 32.
—, spezifische 26.
Durchleuchtung, Bauerregulierung 894.
—, Hilfsmittel 978.
— — und Aufnahmen 993.
—-Kompressorium mit Bucky-Effekt nach Holzknecht 982*.
Durchleuchtungsröhre mit besonders starker Antikathode nach Rosenthal 875*.
Durchleuchtungsschirm 37.
— mit Schutzschild nach Peltason 981*.
— und Zubehör 979.
—stativ, Riedersches 926*.
Dutzendpackung 987.

E.

Eigenstrahlung 28.
Einbrennen der Antikathode 22.
Einstellung auf optischem Wege 4.
Einzelpackung 987.
—schlag (Blitz)-Apparat 843.
— —-Aufnahme 844.
Eisenkern 811. 817.
—, geschlossener 817*.
— mit Primärwicklung 817*.
Elektrizitätsleitung in Ionen- und Elektronenröhren 15.
Elektron 13.
Elektronenröhren 15. 21. 894.
— mit kalter Kathode 907.
—strahlen 28.
—-Ventile 849.
Entladungen, Schutz gegen elektrische 995.
Entladungsstrom, zeitlicher Verlauf dess. 34.
Entwicklungsapparat, elektrischer 992*.
Erdleitung 995.
Eresco-Stromschließer 868*.
— —, Stromschema 868*.
—-Universal-Gleichrichter 859.
Explorator (Diagnostik-Apparat) 912.
Extraströme 811.

F.

Fadenkreuz 927.
Fallkassettenprinzip 951.
Feldröntgenautomobil 997. 999*.
— —wagen 997. 998*.
Fernregulierung nach Fürstenau 893.
— — pneumatische bei elektrischer Reguliervorrichtung 893*.
—stativ 928.
— — nach May 928*.
Film, doppelseitig begossener 989.
—bänder 951.
Filter 925.
Filtration der Röntgenstrahlen durch die Glaswand 36.
Fistelstäbchen 994.
Fixierungsvorrichtung 931.
—, Strätersche 935*

Fluoreszenz-Röntgenstrahlen 28.
—strahlung 6. 13.
— —, Härte ders. 14.
Fokometer, Waltersches 49. 978.
Fokus der Kathodenstrahlen 21.
Folien (Verstärkungsschirm) 989.
Fremdkörperlage, Bestimmung 978.
Funkenstrecke, parallele 965.
—transformator mit geschlossenem Eisenkern 817.
Fürstenausches Intensimeter 974. 975*.
— — mit zwei Meßbereichen 975*.

G.

Gasunterbrecher 836.
— nach Ropiquet 822*.
— — —, Unterbrechergefäß 823*.
— mit Nadelschalter 824*.
Gaußscher Lagerungstisch 930*.
Gehrckesche Oscillographenröhre 814. 977.
Glasschreibstifte 995.
Glasstrahlung 42.
Gleichrichter, elektrolytischer 834.
Gleichspannungs-Apparate 863.
—strom 832.
Glimmlichtröhre 976. 977*.
Glühkathodenröhren 15. 894.
— — ohne Antikathodenkühlung 901*.
— — Schaltungsschema 900*.
—, Zusatz-Einrichtung 897*. 898.
—-Ventilröhre 850*.
Gocht-Uhr 911.
Graphit 25.
Grasheysche Kompressionsstütze 935. 936*.
— Kopfstütze 935. 936*.
Grenzwellenlänge 10. 32.
Grissonator 866.
—, Stromschema 867*.
Groß-Metro-Therapie-Röhre 901*.
Gundelachsche Röhre 872*.
Guttaperchapapier 996.

H.

Halbwertsschicht 31.
—-Härtemesser nach Christen 960*.
Hängeblende nach Holzknecht-Kienböck 927*.
Härte der Fluoreszenzstrahlung 14.
—messer 31.
— —, direkte 958.
— —, indirekte 964.
Härten der Röhren 893.
Härteskala nach Fürstenau 961. 962*.
Hartstrahl-Apparatur von Sanitas 864*. 865.
— —, Stoßstromgenerator 864*. 865.
Heiztransformator 897.
Heliodor-Apparat 912. 913*.
Hochfrequenz-Apparate 869.
Hochspannungsapparate 810. 909.
— —gleichrichter 834.
— — —, Des Coudresscher, Stromschema 852*.
— — —, mechanischer 851.
— — —, Vor- und Nachteile 853.
— —leitungen 957.
— —nadelschalter 824.
— —umschalter nach Albers-Schönberg 957*.
— —voltmeter, elektrostatisches 967.
Höchstspannung 11.
Höllensteinstift 995.
Holzknecht-Einheiten 970.
—-Skala zum Chromoradiometer 969*.
Horizontal-Orthodiagraph nach Moritz 938*.

I.

Induktion 811.
Induktor, Übersetzungsverhältnis 816.
—apparate mit Unterbrecher 810.
Induktorium 21.
—, Leistungsfähigkeit 836.
—, Schema des Stromverlaufs im Primär- und Sekundärkreis 811*.
Influenzmaschine 869.
Innenfilter-Röntgenröhre 884.
Intensimeter 961.
—-Einheiten 975.
— nach Fürstenau 974. 975*.
— — — mit zwei Meßbereichen 975*.
Intensivröhren 5.
Intensivstrom-Apparat, kombiniert mit Schalttisch und Schutzwand 910*.
Ionen-Röhre 15. 19*. 21. 55. 870.
— —, Regulieren ders. 892.
—-Ventile 849.
Ionisationskammer 7.
Ionometer nach Wulf 971. 972*.
Ionto-Quantimeter nach Szillard 970. 971*.
Iridium-Röhre 882.
Isolierrohr mit Sekundärwicklung 816*.

J.

Jodkaliumstärke 39.
Justierungen 4.

K.

Kalomel 39.
—-Radiometer nach Schwarz 970.
Kalzium, wolframsaures 37.
Kanalstrahlen, Goldsteinsche 15.
Kaestlesches Stativ für Nah- und Fernaufnahmen 929*. 930.
Kathodendunkelraum 849.
Kathodenstrahlen 15. 16.
—, Ablenkung 18. 21.
—, Eigenschaften 17.
—röhre 870*.
—, sekundäre 19.
Kenetron 849.
Kilovoltmeter 967.
Kilowatt-Röhre von Müller 876*.
Klinoskop 939*. 940*. 941.
Kniestütze 935*.
Köhlersches Doppelplattenverfahren 990.
Kompressionsblende, Albers-Schönbergsche 931*. 932.
— — —, Kastenblende dazu 932*.
—-Blendenschirm 981*.
—, einarmige 934*.
—, Rosenthalsche 932. 933*.
— —, Stereo-Vorrichtung 943*.
—stütze nach Grashey 936*.
—vorrichtung 931.
Kondensator 818.
—, Schema 819*.
—-Apparat von Norton u. Lawrence, Stromschema 865*.
— — von Tesla, Stromschema 866*.
Konstant-Röhre und Weichstrahlröhre von Gundelach 875*.
—-Unterbrecher 823. 824*.
Konstanz-Ventilröhre, Rosenthals 849*.
Kontrast-Einlauf 994.
—-Mahlzeit 994.
Kontrastin-Gelatinestäbchen 994.
Kontrastmittel 994.
Kopfstütze nach Grashey 936*.
Kristallstruktur 3.
Kryptoskop 982. 983*.
Kymogramme des linken Ventrikels 955*.
Kymographie 955.

L.

Lagerungstisch 930.
—, Gaußscher 930*.
Lambertz-Stativ 916*.
Lazarettzug, Anordnung des Operations- und Röntgenraums 1000*.
—, Röntgenapparat 999*.
Lazarettzug, Trochoskop 999*.
Lenardstrahlen 24.
Leuchtmarken 995.
Leuchtschirm, Schnurfixation 927*.
— —bild, kinematographische Aufnahme 951.
Leukoplast 996.
—-Bleifolie 994.
Lichtstrahlen, Durchlässigkeit 25.
—wellen 2.
Lilienfeldröhre 894. 895*.
—, Hochspannungswiderstand dazu 896.
—, neuere Ausführung 897*. 898.
—, Querschnitt 895*.
—, Stromschema 896*.
Lindemannröhre 887*.
Linienspektrum 14.
Lochkamera-Spektrograph Seemanns 8.
Löffeldistinktor nach Holzknecht 986*.
Luffaballen 937.
Luft, Erneuerung 995.
—kühlröhren 875.
—zirkulations-Röhren 877*.
Lumineszenz 37.

M.

Magen, Bioröntgenographie 950. 951. 953.
— —, vereinfachte 953.
Massenabsorptionskoëffizient 30.
Maximalwert der Härte des Strahlengemisches 964.
Maximum-Röhre 877.
Media-Dental-Röhre 902*.
—-Röhren 904.
—-Wasserkühldiagnostikröhre 902*.
Meßinstrumente 958.
Messung, röntgenstereoskopische 946.
Metall-Glühkathoden-Röntgenröhre 905.
—marken 995.
—röntgenröhren 904.
— — von Philips 905*.
Milli-Ampèremeter 968. 976.
Molybdänröhre 899.
Moment-Apparate 843.
Momentaufnahmen 50. 837. 881.
— —, Bedeutung 847.
—-Röntgenographie 847.
Monokel-Kryptoskop 983.
Moseleysches Gesetz 14.
Multivolt-Apparat 842*.
— —, Schaltungsschema 842*.

N.

Nahbestrahlungs-Röhren 880.
Neefscher Hammer, Stromverlauf 818*.

Neo-Intensiv-Apparat 843*.
Netzebenen 6.
Netzhaut des Auges, Empfindlichkeit für Röntgenstrahlen 37.

O.

Öffnungsstrom 810.
Originalbild und Kopie 44.
Orthodiagraph nach Moritz 937. 938*.
— nach Grunmach 938*.
Oscillographenröhre, Gehrckesche 814.
Osmo-Fernregulierung 889*.
Ossalschirm 37. 979.

P.

Parvograph nach Stumpf 980. 981*.
Pauspapierhalter nach Weiser 980*.
Penetransröhre 880*.
Phosphoreszenz 37.
Plastik der Röntgenbilder 43.
—, naturgetreue bei Stereoaufnahmen 947.
Platin, selektive Absorption 31.
—-Aluminiumfenster 29.
—kontakt-Unterbrecher 818.
—-Röhren 883.
Platte, photographische statt Ionisationskammer 7.
— —, Schwärzung ders. und Fluoreszenzerregung 38.
Plattenbetrachtungsapparat nach Gocht 950*.
Plattenwechselmaschine nach Dessauer 952*.
Polyfrequenz-Apparate 869.
Polygramme 952.
Polyphos-Lambertz-Stativ 917.
—-Stereo-Apparat 945.
Potter-Bucky-Blende 923*.
Präzisions-Röhre 49. 881*.
—röntgenogramme 47.
Primärstrom, Entstehen und Verschwinden 818.
— — bei Schließung und Öffnung 813*.
—wicklung 812.
— —, starke Ströme 816.
Pulfrichscher Stereoplanigraph 947. 948.
Punktdistinktor nach Holzknecht 986*.

Q.

Qualimeter nach Bauer 967*.
Quantimeter nach Kienböck 970*.
Quecksilber-Gleit-Unterbrecher 820*.
—-Strahlunterbrecher 821*.
—-Tauchunterbrecher 819. 820*.
Quecksilber-Turbinenunterbrecher 821*.
—-Unterbrecher 819.
—-Zentrifugalunterbrecher 825*.
— — Rotax 825*. 826.

R.

Radio-Silex-Apparat 860*.
— — —, Schaltungsschema 861*.
—-Sklerometer von Villard 961.
—-Transverter 857*.
Radioskop nach Chaoul 983. 984*. 985*.
Rapidröhre 5. 873*.
Raumgitter 3. 5.
Regenerier-Automat nach Wintz 890*. 891.
Reguliervorrichtungen 887*.
—, atmosphärische Luft 891.
—, elektrischer Strom 888.
—, Erwärmung 887.
—, Osmose 889.
Rhytmeur 880.
Rippenkühl - Diagnostik - Coolidgeröhre 901*.
Röhren-Aufbewahrungsschrank 956.
—gestell 956.
—halter, selbstzentrierender nach Grödel 918. 919*.
—, harte und weiche 15.
—stativ 916.
— — mit gabelförmigem Arm 917*.
— — mit Kabelhalter 918*.
— — nach Lambertz-Dieck 449*.
Rollkabel 957*.
Röntgenapparate, komplette 996.
— — mit Röhrenkiste im Lazarettzug 999*.
— —, transportable 996*. 997*.
—-Aufnahmen, kurzzeitige 846.
Röntgenbild, Kompliziertheit 46.
—, natürliche und künstliche Plastik 43.
—, plastisches 991.
—diagnose 27.
—dosismesser von Siemens 973*.
— — —, Registriervorrichtung 974*.
—kinematograph 950. 951*.
—kinematographie 50.
—-Kymograph 954*.
—maschine „Hartstrahl" 864*. 865.
Röntgenographie 38.
Röntgenphysik, praktische 1.
—röhren 16.
— —, Bestimmung des Härtegrades 29.
— —, Wirkungsgrad 23.
Röntgenröhre mit besonders schwerer Antikathode 874.

Röntgenröhre, gasarme 894.
— —, gashaltige 870.
— —, mit metallarmer Antikathode 871.
— —, mit metallreicher Antikathode 872.
— — von Seitz 883*.
— —, selbsthärtende 893.
— —typen, spezielle 883.
— — für besonders weiche Strahlen 886.
—schutzvorrichtung, vollkommenste 915.
—spektrometer 964.
Röntgensches Absorptionsgesetz 29.
Röntgenspektralapparat von Friedrich, Knipping und Laue 2*. 3*.
—spektrometer nach March, Staunig u. Fritz 9. 10*. 12*.
—stereo-Aufnahmeapparat 943.
— — nach Hegener 944*.
—-Besichtigungsapparat 948. 949*.
—-Orthodiagraph nach Beyerlen 946. 947*.
—strahlen, Ätherimpulstheorie 1.
— —, geradlinige Ausbreitung 40.
— —, Durchlässigkeit 25.
— —, Eigenschaften 24.
— —, Entstehung ders. 12.
— —, harte und weiche 15.
— —, Abhängigkeit der Intensität von der Wellenlänge 11*.
— —, Abnahme der Intensität 41.
— —, Interferenzerscheinungen 1.
— —, Physik ders. 1.
— —, Primärstrahlung 42.
— —, Qualität (Härte) 958.
— —, Quantität (Intensität) 968.
— — —, direkte Messung 968. 976.
— —, Schutz der Umgebung 994.
— —, sekundäre 41.
— —, Wesen ders. 1.
— —, Wirkungsgrad 869.
—therapie 38.
Röntgentechnik 807.
—, Hilfsvorrichtungen und Utensilien 908.
Röntgentransverter 851.
— — nach Koch 855.
— —, Stromschema 854*.
Rosenthalsche Kompressionsblende 932. 933*.
— Konstanz-Ventilröhre 849*.
— Präzisionsröhre 881.
Rotax-Unterbrecher 825*. 826.

S.

Sandsäcke zur Fixierung 934.
Schalldämpfer 831.
— für Wehneltunterbrecher 832*.
Schalttisch 910.
—vorrichtung für mehrfachen Röhrenbetrieb 840*.
Schärfemeßinstrument 49.
Schattenbilder 40.
Schaukelapparate (Entwickler) 992*.
Schiebe-Lineal, Fürstenausches 962*.
Schirmpausen 980.
Schließungsstrom 810.
Schlitzbinde nach Robinsohn 935*.
Schmelzpatrone 845.
Schnellaufnahmen 847.
Schnurfixation des Leuchtschirms nach Lenz 927*.
Schutz gegen elektrische Entladungen 995.
— gegen Röntgenstrahlung 994.
—kabine 914.
—mittel 994.
—schild nach Peltason 981*.
—wand 914*.
Schwebeblendenkästchen nach Holzknecht 920*. 921*.
Schwefelzink 38.
Schwimmkapseln 994.
Schwingungen 814.
Seemannscher Röntgenspektrograph 8. 9*.
Seidenpapier 996.
Sekundärdrahtscheiben 815*.
— —, aufeinanderfolgende, Schema der Verbindung 815*.
—spannung während einer Schließung und Öffnung des Primärstromes 813*.
—strahlen 28.
— —, Blenden 922.
—strahlung, fluoreszierende 42.
—ströme 837.
— — einer Richtung 812.
— —kurven 813. 964. 977. T. XXIX.
— — —form 34.
—wicklung 812.
— — auf Isolierrohr 816*.
— —, symmetrische 836.
— —, Windungen 815.
Selbstinduktionskoeffizient 816.
—widerstand 830.
Serienaufnahmen 951. 953.
— —gerät 953*. 954.
Siedekühlvorrichtung 878.
Siederöhre 878.
Siemens-Röntgendosismesser 973*.
— —, Registriervorrichtung 974*.
Silber, selektive Absorption 31.
Simon-Unterbrecher, einfacher 827*. 828.

Simon-Unterbrecher, regulierbarer 827*.
Simplex-Glühkathoden-Ventilröhre 850*.
Sinkkapseln 994.
Siriusschirm 979.
Sklerometer von Klingelfuß 966.
Spannungsdifferenz, elektrische 14. 811. 964.
Spannungskurve des Sekundärstroms 35.
Spektrum, kontinuierliches 14.
— der Röntgenstrahlen 18.
Spezialapparat für zahnärztliche Zwecke 912*.
—röhre Nr. 2 886*.
Spiralkabel 957.
Stabilivolt-Apparat 862*.
— —, Schaltungsschema 863*.
Starkstrom-Influenzmaschine von Wehrsen 869.
Stereo-Aufnahme-Apparat nach Rosenthal 945*.
—-Kassette nach Hildebrand 943*.
— — nach Wertheim 944*.
—-Röntgenröhren 885. 886*.
—-Skiagraph nach Hasselwander 946*.
—-Vorrichtung für die Rosenthalsche Kompressionsblende 943*.
Stirn-Kryptoskop nach Grashey 983*.
Stokessches Gesetz 42.
Stoßionisation 15.
Stoßstrom-Generator der Hartstrahl-Maschine von Sanitas 864*.
Strahlenanalysator nach Glocker 42. 961. 963*.
—härte 971.
Strätersche Fixierungsvorrichtung 935*.
Streustrahlen 28. 42.
Stromart 832.
—impulse, abklingende 844*.
— —, nicht abklingende 844*.
—phase, Vorrichtungen zur Unterdrückung der ungewünschten 848.
—verlauf in einer Drahtspule 810*.
— — im Primär- und Sekundärkreis des Induktoriums 811*.
Stromkurve des Sekundärstroms 35.
Strömung, selbständige und unselbständige 15.
Symmetric-Apparat 841*.
— —, Schaltungsschema 841*.

T.

Tantal 883.
Teleröntgenographie 928. 939.
Therapie-Glühkathodenröhre für den Siemens-Bestrahlungskasten 903*.
Thermion-Apparat 861.
Thermometer 977.
Thermosrohr 878.
Thorax-Momentaufnahme 814.
Tiefentherapie, Bestrahlungskasten 915*.
—, Osmoregulierung 894.
Tintenstift 995.
Tonbad 1022.
Tonfixierbäder 1022.
Tornado-Unterbrecher 825.
Trochoskop 933.
— mit Kästleschem Schirmhalter 930*.
— im Lazarettzug 999*.

U.

Übersetzungsverhältnis des Induktors 816.
Ultradur-Röhre 878.
— — nach Rosenthal 879*.
Unipuls-Apparat 845.
Universalblende von Grashey-Beyerlen 941*. 942*.
—-Induktor 814. 836. 847.
— —, äußere Ansicht 839*.
— —, Schaltungsschema 838*.
—-Ionometer 961. 971.
—-Röntgen-Laboratorium 908.
— — —, Schema 909*.
—-Stative 928. 940.
Unterbrecher 5. 818.
—, elektrische 826. 835.
—, Vergleich der verschiedenen 834.
—pole, Verbindung 828.
Unterbrechungsfunke 818.
—zahl, Bedeutung ders. 829.
Untersuchungsstativ 926.

V.

Ventilröhren 849.
— nach Koch 849*.
—, Rosenthalsche Konstanz-V. 849*.
Ventrikel, Kymogramme des linken 955.
Verdunklungsvorrichtungen 978.
Verstärkungsschirm 988. 989.
—, Kassette 988*. 989*.
Vertikal-Orthodiagraph 938*. 939.
—strahl 919.
Vorschalt-Funkenstrecke 848.

W.

Wabenblende nach Bucky 922*.
Walter-Schaltung 830.
Walterscher Härtemesser 959. 960*.
Waltersches Fokometer 49. 978.

Wand-Apparat mit Gasunterbrecher 912. 913*.
Wandkonsole für Röhren 956*.
Wasserkühl-Röhre 872.
— —, Müllersche 873*.
Wasserzirkulations-Röhren 876.
— —, Kühlstab 876*.
Wechselrahmen nach Weiser 993*.
—strom 832.
— —, Halbwellen 854*.
— —betrieb, unterbrecherloser 851.
— —-Gas-Unterbrecher 833.
— —-Gleichstrom-Umformer 834.
— —kurve 833*.
— —-Wehnelt-Unterbrecher mit Nickelstift 833*.
Wehneltscher Härtemesser 959*.
Wehnelt-Unterbrecher, einfacher 826. 828.
— —, regulierbarer 826*.
— — mit Schalldämpfer 832*.
Weichstrahl-Ideal-Apparat von Reiniger 858*.
— — —, Schaltungsschema 859*.
Wheatstonesches Spiegelstereoskop 948.
Winkelbretter 937.
Wintzscher Regenerier-Automat 890*. 891.
Wirbelströme 817.
Wismutkarbonat 994.
Wolfram-Röhren 883.
Wommelsdorfsche Influenzmaschine 869.
Wulfsches Ionometer 971. 972*.

X.

X-Strahlen 25.

Z.

Zahnarzt-Spezialapparat 912*.
Zangenröhre 874.
Zentralprojektion 40.
Zentriervorrichtung 918.
— nach Grashey 919*.
Zerstäubung durch Kathodenstrahlen 20.
Zink, kieselsaures 979.
Zirkonoxyd 994.
Zündtransformator 898.

Druck der Graphia Akt.-Ges. vorm. C. Grumbach in Leipzig

Date Loaned			
13 De'61			
MODO JL	22		

Demco 292-5

TRANSFERRED TO
MEMORIAL LIBRARY

LKP
.R72
Rosenthal
Praktische Röntgenphysik

[redacted]H.

89050150093

b89050150093a